第3版

电动自行车维修入门精要与速修技巧

郑亭亭 ◎ 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

电动自行车维修入门精要与速修技巧

第 3 版

郑亭亭　等编著

机 械 工 业 出 版 社

本书共分10章，第1章简要介绍了电动自行车的分类、结构组成及使用保养的知识。第2～3章主要介绍电动自行车零部件及电路元器件的识别及检测方法。第4章主要介绍电动自行车的电路图识图以及电动自行车基础单元电路、整车电路、控制器电路、充电器电路等知识。第5～9章主要对电动自行车整车的常见故障、电动机的常见故障、蓄电池的常见故障、控制器的常见故障及其充电器的常见故障的现象及检修方法做了详细的介绍。第10章以实物图解的方式对电动自行车故障实例进行了介绍。

本书行文由浅入深，化繁为简，图文结合，力求突出实用性。希望广大电动自行车维修人员能够通过阅读本书，使修理工作变得简单和轻松。

图书在版编目（CIP）数据

电动自行车维修入门精要与速修技巧/郑亭亭等编著. —3版. —北京：机械工业出版社，2013.8
ISBN 978-7-111-43491-7

Ⅰ.①电…　Ⅱ.①郑…　Ⅲ.①电动自行车-维修　Ⅳ.①U484.07

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第174290号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：朱　林　责任编辑：朱　林
封面设计：赵颖喆　责任校对：薛　娜
责任印制：张　楠
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2013年9月第3版第1次印刷
148mm×210mm·9印张·245千字
0001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-43491-7
定价：28.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务　网络服务
社服务中心：（010）88361066　教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：（010）68326294　机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：（010）88379649　机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203　**封面无防伪标均为盗版**

前言

近年来，电动自行车以其轻便、灵活、机动的特点以及节能、环保、安全可靠的优点，越来越多地走入了人们的生活，成为了人们出行代步的重要工具。据一项统计显示，自20世纪80年代以来，我国电动自行车保有量保持快速增长的趋势，到目前为止已达到近2000万辆。如此规模的拥有量，也极大地促进了电动自行车维修行业的蓬勃发展。

与普通自行车单纯的机械系统相比，电动自行车不仅继承了普通自行车机械系统的特点，而且附加了复杂的电气系统。随着科技的发展，越来越多的新技术被应用于电动自行车，使得电动自行车的检修变得更为复杂和困难。然而遗憾的是，与电动自行车新车型、新技术不断出新的现状相比，其相应的维修资料却显得较为匮乏，市面上与电动自行车维修相关的书籍也相对较为理论化，缺乏针对性、实用性和可操作性。

为了更好地帮助广大维修人员，尤其是初学者快速掌握电动自行车维修的要点和技巧、达到即学即用的效果，编者在大量收集电动自行车相关维修资料的基础上，精心编排，尽量采用通俗易懂的语言描述。

本书第1章、第4章由黄军装、胡兴平、陈军编写，第2～3章由郑亭亭、桑燕、胡虎编写，第5～10章由于天飞、陈小东、郑立德编写，全书由于天飞统稿。

本书行文由浅入深，化繁为简，图文结合，希望广大电动自行车维修人员能够通过阅读本书，使修理工作变得简单和轻松。

目　　录

前言
第 1 章　电动自行车的分类、结构组成与使用保养 …… 1
1.1　电动自行车的分类 …… 1
1.1.1　按功能款式分类 …… 1
1.1.2　按驱动方式分类 …… 2
1.1.3　按使用的电动机分类 …… 2
1.1.4　按采用的蓄电池分类 …… 3
1.2　电动自行车的结构组成与使用保养 …… 4
1.2.1　结构组成 …… 4
1.2.2　电动自行车的使用及保养 …… 6
第 2 章　电动自行车零部件的识别及判断 …… 9
2.1　直流电动机 …… 9
2.1.1　电动机的命名 …… 9
2.1.2　直流电动机的分类 …… 10
2.1.3　直流电动机的结构 …… 10
2.1.4　直流电动机的工作原理 …… 13
2.1.5　直流电动机的连接 …… 15
2.1.6　直流电动机正常与否的判断 …… 21
2.2　蓄电池 …… 21
2.2.1　铅酸蓄电池的外形及结构 …… 21
2.2.2　铅酸蓄电池的工作原理 …… 23
2.2.3　铅酸蓄电池正常与否的判断 …… 25
2.3　控制器 …… 26
2.3.1　控制器的命名及分类 …… 26
2.3.2　控制器的基本功能 …… 27
2.3.3　控制器正常与否的判断 …… 28
2.4　充电器 …… 29
2.4.1　充电器的命名 …… 29

2.4.2　充电器的分类及规格 …… 29
2.4.3　充电器正常与否的判断 …… 30
2.5　转把、闸把和助力传感器 …… 30
2.5.1　转把 …… 30
2.5.2　闸把 …… 30
2.5.3　助力传感器 …… 31
2.5.4　位置传感器 …… 32
2.5.5　飞车保护模块 …… 34
2.6　灯具及仪表 …… 34
2.6.1　灯具 …… 34
2.6.2　仪表 …… 34
第3章　电动自行车元器件的识别及检测 …… 41
3.1　电阻器 …… 41
3.1.1　电阻器的单位表示及命名 …… 41
3.1.2　电阻器的分类 …… 42
3.1.3　电阻器的检测 …… 44
3.2　电容器 …… 46
3.2.1　电容器的单位表示及命名 …… 46
3.2.2　电容器的分类 …… 47
3.2.3　电容器的检测 …… 47
3.3　电感器 …… 48
3.3.1　电感器的单位表示 …… 49
3.3.2　电感器的分类 …… 49
3.3.3　电感器的检测 …… 49
3.4　二极管 …… 50
3.4.1　二极管的表示 …… 50
3.4.2　二极管的分类 …… 50
3.4.3　二极管的检测 …… 51
3.5　晶体管 …… 54
3.5.1　晶体管的表示 …… 54
3.5.2　晶体管的分类 …… 54
3.5.3　晶体管的检测 …… 55
3.6　变压器 …… 57

3.6.1 变压器的电路符号 …… 57
3.6.2 变压器的分类 …… 57
3.6.3 变压器的检测 …… 58
3.7 场效应晶体管 …… 59
3.7.1 场效应晶体管的分类 …… 60
3.7.2 场效应晶体管的识别 …… 60
3.7.3 场效应晶体管的检测 …… 61
3.8 晶闸管 …… 64
3.8.1 晶闸管的分类及识别 …… 64
3.8.2 晶闸管的检测 …… 65
3.9 霍尔组件 …… 67
3.9.1 霍尔组件的构成 …… 67
3.9.2 霍尔组件的分类 …… 68
3.9.3 霍尔组件的检测 …… 68
3.10 互感滤波器 …… 69
3.10.1 互感滤波器的构成 …… 69
3.10.2 互感滤波器的检测 …… 70
3.11 熔断器 …… 70
3.11.1 熔断器的分类 …… 70
3.11.2 熔断器的检测 …… 70
3.12 集成电路 …… 71
3.12.1 集成电路的分类 …… 71
3.12.2 集成电路的识别 …… 71
3.12.3 集成电路的检测 …… 73
3.13 光耦合器 …… 76
3.14 单片机 …… 77
3.15 晶振 …… 78
3.15.1 晶振的功能 …… 78
3.15.2 晶振的检测 …… 78
3.16 LED 数码管 …… 79
3.16.1 LED 数码管的识别 …… 79
3.16.2 LED 数码管的检测 …… 79
第 4 章 电动自行车的电路图解 …… 80

4.1 电动自行车电路图的分类 …… 80
4.1.1 按系统单元划分 …… 80
4.1.2 按图样种类划分 …… 80
4.2 电动自行车电路图形符号及文字符号 …… 83
4.2.1 电动自行车电路符号的分类 …… 83
4.2.2 电气电路图形符号与名称 …… 84
4.2.3 数字电路图图形符号与名称 …… 86
4.3 电动自行车基础单元电路图解 …… 87
4.3.1 稳压电源 …… 88
4.3.2 运算放大器 …… 88
4.3.3 电压比较器 …… 90
4.3.4 继电器驱动控制电路 …… 91
4.3.5 续流电路 …… 92
4.3.6 电压采样及电流采样 …… 93
4.3.7 显示电路 …… 94
4.3.8 施密特电路 …… 94
4.3.9 反馈电路 …… 95
4.3.10 脉宽调制 …… 96
4.3.11 三角波形成电路 …… 97
4.3.12 电源滤波电路 …… 97
4.3.13 二极管“或”电路 …… 98
4.4 电动自行车整车电路图解 …… 99
4.4.1 整车电路的构成 …… 99
4.4.2 整车电路的分析 …… 99
4.5 电动自行车控制器电路图解 …… 102
4.5.1 控制器的构成 …… 103
4.5.2 控制器的工作原理 …… 106
4.5.3 控制器的连接 …… 108
4.5.4 控制器的电路图解 …… 110
4.6 电动自行车充电器电路图解 …… 121
4.6.1 充电器的构成及充电模式 …… 121
4.6.2 充电器的工作原理 …… 122
4.6.3 充电器的电路图解 …… 123

第 5 章　电动自行车整车常见故障速修要点与技巧 …… 134
5.1　常见整车机械故障的检修要点与技巧 …… 134
5.1.1　车体机械故障的检修思路 …… 134
5.1.2　常见车体机械故障的检修举例 …… 135
5.2　常见整车电路故障的检修要点与技巧 …… 138
5.2.1　整车电路故障的检测 …… 139
5.2.2　整车电路故障的检修思路 …… 142
5.2.3　常见整车电路故障的检修举例 …… 145
第 6 章　电动自行车电动机常见故障速修要点与技巧 …… 149
6.1　电动机的检测 …… 149
6.1.1　电动机的一般性检测 …… 149
6.1.2　电动机正常与否的快速检测 …… 149
6.2　电动机故障的检修思路 …… 150
6.2.1　有刷电动机故障的检修思路 …… 150
6.2.2　无刷电动机故障的检修思路 …… 152
6.3　常见电动机故障的检修举例 …… 155
第 7 章　电动自行车蓄电池常见故障速修要点与技巧 …… 173
7.1　蓄电池的检测 …… 173
7.1.1　蓄电池故障的检测 …… 173
7.1.2　蓄电池故障的简易诊断方法 …… 174
7.2　蓄电池故障的检修思路 …… 174
7.2.1　蓄电池的常见故障表现 …… 174
7.2.2　蓄电池故障的常见原因 …… 175
7.2.3　蓄电池故障的检修方法 …… 175
7.3　常见蓄电池故障的检修举例 …… 175
第 8 章　电动自行车控制器常见故障速修要点与技巧 …… 193
8.1　控制器的检测 …… 193
8.1.1　有刷控制器的检测 …… 193
8.1.2　无刷控制器的检测 …… 193
8.1.3　无刷控制器故障的快速判断 …… 194
8.2　控制器故障的检修思路 …… 196
8.2.1　控制器故障的特点 …… 196
8.2.2　控制器各功能元器件故障的检修思路 …… 198

8.2.3 控制器各功能电路的检修思路 …… 200

8.3 常见控制器故障的检修举例 …… 201

第9章 电动自行车充电器常见故障速修要点与技巧 …… 210

9.1 充电器的检测 …… 210

9.1.1 充电器的一般检测 …… 210

9.1.2 充电器正常与否的快速检测 …… 213

9.2 充电器故障的检修思路 …… 213

9.2.1 充电器故障的特点 …… 213

9.2.2 充电器故障的快速检修方法 …… 214

9.2.3 充电器故障的检修步骤 …… 216

9.3 常见充电器故障的检修举例 …… 218

第10章 电动自行车故障实例图解 …… 225

参考文献 …… 275

第1章　电动自行车的分类、结构组成与使用保养

1.1　电动自行车的分类

电动自行车是自行车的延伸产品之一，是以蓄电池作为辅助能源，具有两个车轮，能实现人力骑行、电动或电助骑行的非机动车。由于其外形与摩托车相似，所以又称为蓄电池（俗称电瓶）车、电动摩托车。电动自行车总重量一般应为40～50kg。

电动自行车的分类方式如下。

1.1.1　按功能款式分类

电动自行车按功能款式可分为以下几类。

1. 标准型

如图1-1所示，标准型电动自行车就是在普通自行车上加装了电动机、电动机驱动控制器（简称控制器）、蓄电池、转把、闸把等操纵部件和显示仪表系统。

标准型电动自行车成本低、结构简单、操作方便，通常采用36V/10A·h铅酸蓄电池组，续行里程为45～50km。

2. 多功能型

如图1-2所示，多功能型电动自行车一般是在标准型基础上增加



图1-1　标准型电动自行车的外形



图1-2　多功能型电动自行车的外形

前叉避振、坐垫避振、前照灯等装置。

多功能型电动自行车较标准型电动自行车功能更全，骑行时较舒适，使用较方便。

3. 豪华型

如图 1-3 所示，豪华型电动自行车是在多功能型电动自行车的基础上加装了时速表、里程表、左右转向灯、工具箱等。



图 1-3　豪华型电动自行车的外形

同多功能型电动自行车相比，豪华型电动自行车更为美观、舒适。

1.1.2　按驱动方式分类

电动自行车按驱动方式可分为以下几类。

1. 中轴链轮传动型

中轴链轮传动型的电动机安装在电动自行车的中轴上，使电动自行车的重心合理。但中轴链轮传动型要求车架必须精密且传动效率低、机械磨损大，故此类传动方式已基本被淘汰。

2. 摩擦轮传动型

摩擦轮传动型的电动机通过摩擦轮对自行车的后轮轮胎进行摩擦使其转动。摩擦轮传动型电动自行车结构简单、成本低，但安装难度大，且对轮胎的磨损大，而且下雨天容易打滑，故此类传动方式也已被淘汰。

3. 轮毂传动型

轮毂传动型的电动机安装在车轮后轴的轮毂内，这种轮毂的形状与摩托车形状相似，与后轮的钢圈相连，因此电动机可直接驱动后轮。由于这种传动方式简化了整车的结构，效率高，重量轻，故目前大部分电动自行车都采用这种传动方式。

1.1.3　按使用的电动机分类

电动自行车按使用的电动机可分为以下几类。

1. 有刷有齿电动机型

有刷有齿电动机是一种高速电动机，通过齿轮减速机构，将电动

机转速调低（因国家标准规定电动自行车时速不得超过 20km/h，所以电动机转速应在 200r/min 左右）。由于是高速电动机通过齿轮减速，所以这种电动自行车在起动时骑行者感觉动力强劲，而且爬坡能力较强，电动机效率较高，控制系统电子线路简单。不过由于其电动轮毂是封闭的，用户很难进行日常保养，有齿轮的机械磨损，需到期更换电刷，若润滑不足会导致齿轮磨损加剧，使噪声增大、工作电流增大，影响电动机和电池寿命。

2. 无刷无齿电动机型

无刷无齿电动机是一种低速大力矩电动机，无刷电动机由于没有电刷，其最大优点是从根本上消除了电刷磨损，没有传动齿轮，避免了机械磨损，运行中几乎没有噪声。但无刷电动机起动电流冲击较大，控制系统结构复杂，制造成本较高。

3. 有刷无齿电动机型

有刷无齿电动机是一种低速电动机，没有齿轮减速机构，其动力性能和爬坡能力相对弱一些，适合于道路平坦负荷小的工作状况下使用。但运行安全（冲击力小），电刷磨损少（其低速特性决定了电刷磨损只有有刷有齿电动机的 1/16 左右），噪声小（因无齿轮减速装置），电动机制造成本较低等。

4. 无刷有齿电动机型

无刷有齿电动机也叫无刷高速电动机，它属于内转子电动机，目前不常用。

1.1.4　按采用的蓄电池分类

电动自行车按采用的蓄电池可以分类以下几类。

1. 锂离子蓄电池型

锂离子蓄电池具有寿命长、重量轻、工作电压高等优点，但其缺点是价格高、怕高温、有记忆效应、不能快速充电等，因此尚未大范围普及。

2. 铅酸蓄电池型

铅酸蓄电池是密封免维护铅酸蓄电池的简称。它是由浮充类型电池发展而来的，不仅具有充电快和允许大电流放电的特点，而且具有无记忆、价格低廉、性能稳定、废品回收率高等优点，因此国内的电

动自行车大多采用此类蓄电池。

3. 镍氢蓄电池型

与铅酸蓄电池相比，它的重量轻、寿命长；与镍镉蓄电池相比，它的续行里程长、没有记忆效应，但价格较高。因此，目前国内电动自行车很少采用此类蓄电池。

4. 镍镉蓄电池型

和铅酸蓄电池相比，它的重量轻、寿命长，但续行里程短、有记忆效应。因此国内电动自行车几乎不采用此类蓄电池。

1.2 电动自行车的结构组成与使用保养

电动自行车虽然具有普通自行车的外形特征（甚至具有摩托车的外形特征），但它是在普通自行车的基础上加装了电动机、控制器、蓄电池、转把、闸把等操纵部件和显示仪表系统的、机电一体化的个人交通工具。

如图 1-4 所示，电动自行车由以下几部分组成。

1.2.1 结构组成

1. 车体部分

车体部分主要由车架、前叉（前减振器）、前后轮、坐垫等组成。

车体部分的作用是使电动自行车构成一个整体，支撑全车的总重量，将传动部分传递的扭矩转换成驱使电动自行车行驶的牵引力，同时承受吸收和传递路面作用于车轮上的各种反作用力，确保电动自行车正常、安全行驶。

2. 动力部分

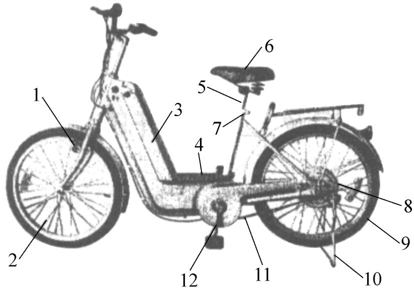
动力部分通常由蓄电池和电动机构成，是电动自行车的动力来源。

（1）蓄电池

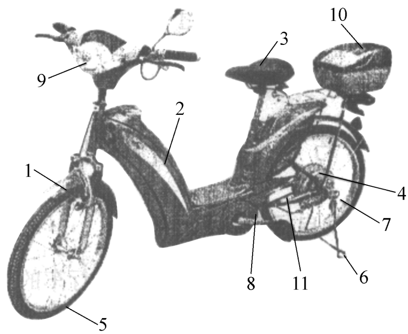
蓄电池是提供电动自行车能量的随车能源。目前电动自行车主要采用铅酸蓄电池组合，另外镍氢蓄电池与锂离子蓄电池也已经开始在一些轻便折叠电动车上使用了。

（2）电动机

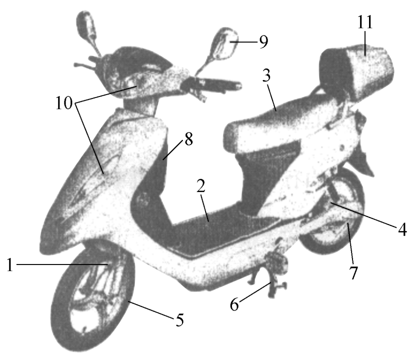
电动机是将电池电能转换成机械能以驱动车轮旋转的部件。



1—前闸　2—轮辋　3—电池盒　4—控制器(盖板内)
5—鞍管　6—鞍座　7—鞍管螺栓　8—电动机
9—内外胎　10—支架　11—链条　12—链轮曲柄



1—前闸　2—电池盒　3—鞍座　4—电动机
5—内外胎　6—支架　7—轮辋　8—链条曲柄
9—大灯　10—后货箱　11—链条



1—前闸　2—电池盒　3—鞍座　4—电动机
5—内外胎　6—支架　7—轮辋　8—前箱
9—后视镜　10—大灯及转向灯　11—后物箱

图 1-4　电动自行车结构示意图

3. 控制器

控制器是控制电动机转速的部件，也是电动车电气系统的核心，具有欠电压、限流或过电流保护功能。智能型控制器还具有多种骑行模式和整车电气部件自检功能。控制器是电动车能量管理与各种控制信号处理的核心部件。

4. 操纵部分

操纵部分主要由转把、闸把、助力传感器等组成。它们是控制器的信号输入部件。

（1）转把

转把信号是电动车速度控制信号。

（2）闸把

闸把信号是当电动车制动时，闸把内部电子电路输出给控制器的一个电信号。控制器接收到这个信号后，就会切断对电动机的供电，从而实现制动断电功能。

（3）助力传感器

助力传感器是当电动车处于助力状态时，检测骑行脚蹬力矩或脚蹬速度信号的装置。控制器根据助力传感器信号的大小，分配给电动机不同的电驱动功率，以达到人力与电力的自动匹配，共同驱动车轮旋转。

5. 灯具仪表部分

灯具仪表部分是提供照明并指示电动车状态的部分组合。

仪表一般提供电池电压显示、整车速度显示、骑行状态显示、灯具状态显示等。智能型仪表还能显示整车各电气部分的故障情况。

6. 充电器

充电器是给电池补充电能的设备，它将市电交流电转换成直流电并存储到蓄电池内部。

1.2.2 电动自行车的使用及保养

电动自行车是在自行车基础上发展而来的，使用上与自行车有相同之处，同时也有很大的不同。下面，我们就电动自行车如何正确使用和保养做几点详细的说明。

1. 使用前的检查

每次使用电动自行车之前应做好以下几项检查。

1）轮胎气压是否充足，气压充足可降低轮胎与道路的摩擦阻力。

2）车把转向是否可靠，制动是否灵活有效，要确保行车安全。

3）电池盒的插座、充电器的插头是否松动，电池盒是否锁好，扬声器（可称喇叭）及灯光按钮是否有效，要确保电路畅通。

2. 合理的骑行方法

利用电动自行车多功能的优点，最理想的使用方法是人助车动、电助人行、人力电力联动，既省力又省电。

具有零起动功能的电动自行车，由于静止起动时电流较大，耗能较多，且易损坏电池，应先用脚踏骑行，然后再电动，到一定速度时再电力加速，切忌原地加速。上坡、负重或逆风行驶时，应人力骑行相助，这样可以避免电池超大电流放电，提高一次充电行驶里程，有利于延长电池寿命。

冬天骑行时，请尽量采用脚蹬助力，这样既可使您的身体得到锻炼，又有利于延长电池的使用寿命（因为低温使蓄电池组的容量下降，如放电深度加大，续行里程将缩短）。

电动自行车的标准载重为 80kg，所以除去骑行者的重量，应避免携带过重的物体。载重时，应用脚踏助力。

3. 正确的充电方法

电动自行车所用铅酸蓄电池的寿命长短与用户的日常使用维护有很大的关系，一般来说，要注意如下几点：

1）电池每次使用放电深度越小（距离越短），电池的使用寿命就越长，平时应养成随用随充的良好习惯，使用电池经济，保持丰电状态。

2）电池需长时间放置时必须先充足电并定期补充电量，一般每一个月补充一次。

3）大电流放电对电池有一定的损害，所以在起步、上坡、负重、顶风时用脚蹬加以助力。

4）电池充电必须用随车配套的专用充电器，输入插头插交流电

插座，输出插头插电池盒，先插电池盒后接通交流电，不可错位，充满电需 3 ~ 8h，多充几个小时对电池更好。

4. 培养良好的回把习惯

电动自行车的加速转把有时不能完全回位，请养成加速完成后即将转把推回原位的好习惯。

制动时，电动机的电源立即切断。但当闸把放开，如果这时加速转把还在加速位置，电动机将立即得到电流前进，这样不利于安全，请务必养成加速完成后即将转把推回原位的好习惯。

5. 注意车体的保养

电动自行车虽然有良好的防雨性能，仍应避免直接日晒和雨淋，防止车体或转动部件的锈蚀，雨季使用或经过水潭、积水时，水位高度不能高于轮毂轴中心线，防止电动机进水造成损失。

6. 注意骑行的安全

电动自行车的座位高度以骑行者两脚可以到地为准，保证安全。

第 2 章　电动自行车零部件的识别及判断

2.1　直流电动机

电动机常被人们称为电动自行车“四大件”（除了电动机，其他分别为蓄电池、控制器、充电器）之一。

在电动自行车行业，电动机一般指电动机总成，包括电动机机心、减速机构等。

电动机将蓄电池的化学能转换成机械能，驱动车轮转动，从而实现电动自行车的骑行。因此，电动机是电动自行车的主要动力驱动部分，也就是电动自行车的“心脏”。

2.1.1　电动机的命名

电动自行车根据使用环境和使用频率的不同，所装配的电动机形式也有所区别。不同形式的电动机其特点也不一样。关于电动自行车电动机的命名如下：

____ ____ ____ ____

派生代号，用大写汉语拼音字母表示
性能参数代号，用两位阿拉伯数字表示
产品名称代号，用大写汉语拼音字母表示
机座号，以机壳外径（mm）表示

其中产品名称代号的含义见表 2-1。

表 2-1　电动机产品名称代号的含义

名称代号	功　　能	名称代号	功　　能
SYT	铁氧体永磁式直流伺服电动机	SYX	稀土永磁式直流伺服电动机
SXPT	铁氧体永磁式线绕盘式直流电动机	SXPX	稀土永磁式线绕盘式直流电动机
SWT	铁氧体永磁式无刷直流伺服电动机	SWX	稀土永磁式无刷直流伺服电动机
SN	印制绕组直流伺服电动机	SR	开关磁阻电动机
YX	三相异步电动机		

我们通过一个例子来说明。

180SWX01A：表示外径为180mm，稀土永磁式无刷直流伺服电动机，厂家01A类产品。

2.1.2　直流电动机的分类

目前，电动自行车广泛采用直流电动机。直流电动机的分类情况如下。

1. 按有无电刷分类

有刷、无刷是有无电刷的简称。直流电动机连续转动是靠转子磁场和定子磁场同性相斥、异性相吸进行的。流过绕组的电流在适当的时候必须转换，否则转子就不能正常旋转。

2. 按有无永久磁铁分类

按有无永久磁铁，电动机可分为永磁电动机和串励电动机两类。

3. 按转速分类

按转速分，电动机可分为高速和低速两种。转速高于3000r/min的电动机称为高速电动机，转速低于1000r/min的电动机称为低速电动机。目前，有刷无齿轮毂电动机可以做到200r/min左右。

4. 按转子分类

按转子分，电动机可分为内转子电动机和外转子电动机两类。高速有刷和无刷有齿轮毂电动机属于内转子电动机，低速有刷和无刷无齿轮毂电动机属于外转子电动机。

5. 按轮毂分类

按轮毂分，轮毂电动机可分为分离式和一体式两种，如图2-1所示。

分离式的通过辐条和钢圈相接，而一体式的直接与钢圈接在一起。



a)　　　　b)

图2-1　轮毂电动机

a）分离式　b）一体式

2.1.3　直流电动机的结构

有刷电动机和无刷电动机的结构和工作原理有很大不同。有刷电动机是由电刷和换向器进行机械换向的，而无刷电动机是由霍尔元件感应信号输入到控制器完成电子换向的。

目前，电动自行车上常用的电动机型式按有刷无刷分为有刷无齿

轮毂电动机、有刷有齿轮毂电动机、无刷无齿轮毂电动机及无刷有齿轮毂电动机。它们的结构组成如下。

1. 有刷无齿轮毂电动机

有刷无齿轮毂电动机也叫有刷低速电动机，它属于外转子式电动机。有刷无齿轮毂电动机是指低速大转矩的无齿有刷直流电动机，其转子的转速即为车轮的转速。定子上的磁钢数一般为 5 ~7 对，转子电枢的槽数一般为 39 ~57 个。由于电枢绕组固定在转子外壳内，可借助外壳转动散热。

有刷无齿轮毂电动机由转子线圈、定子磁钢、左/右端盖、垫圈等组成，其结构如图 2-2 所示。

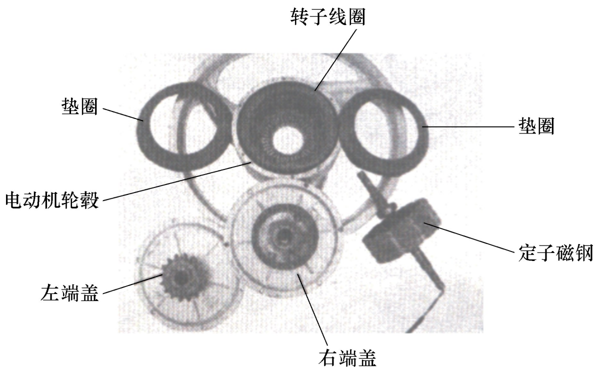


图 2-2　有刷无齿轮毂电动机结构示意图

2. 有刷有齿轮毂电动机

有刷有齿轮毂电动机也叫有刷高速电动机，它属于内转子式电动机。有刷有齿轮毂电动机依靠电刷作为电动机电源的两个触头，利用调速转把和控制器来控制，通过齿轮毂轮二次减速和超越离合器达到无级变速。这种有刷有齿轮毂电动机的减速齿轮强度较高，耐磨性好，返修率较低。

有刷有齿轮毂电动机属于轮毂式电动机，它由电动机主体、减速机构、端盖等组成，其结构如图 2-3 所示。

3. 无刷无齿轮毂电动机

无刷无齿轮毂电动机也叫无刷低速电动机，它属于外转子式电

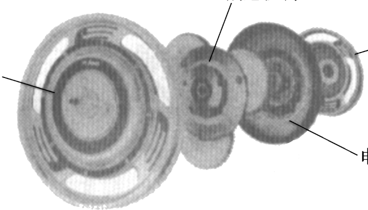


图 2-3　有刷有齿轮毂电动机结构示意图

动机。

目前，电动自行车广泛采用的是无刷无齿轮毂电动机，其转速控制系统的造价比有刷高速电动机的转速控制系统要高，控制器在使用中容易发生故障。装有无刷电动机的电动自行车作为非机动车来管理，时速必须限制在 20km/h 以下。它采用三相六状态驱动，通过霍尔元件换向，绕圈绕组作为转子，定子为磁钢。

无刷无齿轮毂电动机由转子磁钢、定子绕组、轴承和端盖等组成，其结构如图 2-4 所示。

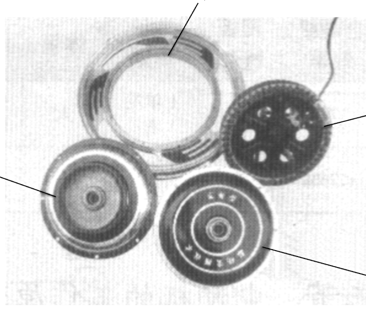


图 2-4　无刷无齿轮毂电动机结构示意图

注：(图中未画出轴承)

4. 无刷有齿轮毂电动机

无刷有齿轮毂电动机也叫无刷高速电动机，它属于内转子电动机，目前不太常用。无刷有齿电动机由电动机主体、减速器和超越离

合器等部分组成，其结构如图 2-5 所示。

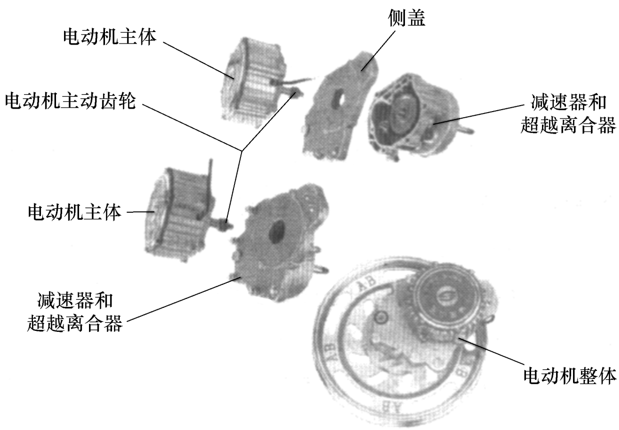


图 2-5　无刷有齿轮毂电动机结构示意图

2.1.4　直流电动机的工作原理

1. 无刷直流电动机的工作原理

图 2-6 所示为无刷直流电动机的基本组成框图。

无刷直流电动机的转子为外转子形式，由永久磁钢按一定极对数（$2p = 2, 4, 6, \cdots$）组成。磁钢材料一般采用铁氧体、钕铁硼或钐钴（稀土磁钢）等。

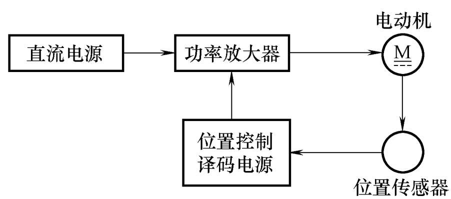


图 2-6　无刷直流电动机的基本组成框图

无刷直流电动机的工作原理如图 2-7 所示。

在电动机装配过程中，首先调整好传感器的 3 个霍尔元件（a、b、c）与电动机定子三相绕组（AX、BY、CZ）之间的相对位置，使得转子磁场转到定子的某相绕组下时，该相绕组才导通，以保证转子磁极下绕组导体中的电流方向始终保持一致。

当电动机转子的 N 极位于 A（a）处时，霍尔元件 a 感应出信号，使功率管 VT_1 导通，A 相绕组中便有电流通过，设其方向为 A

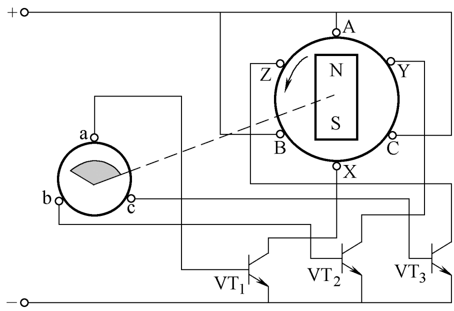


图 2-7　无刷直流电动机工作原理示意图

（流入）X（流出），便产生水平向左的定子磁场，与向上的转子磁场相互作用而产生电磁转矩，驱动转子按逆时针方向旋转。

当 N 极旋转至 B（b）处时，霍尔元件 b 输出信号，使功率管 VT_2 导通，而其余的功率管关断，B 相绕组中通过电流，同样产生逆时针方向的电磁转矩。

当磁极旋转至 C（c）处时，其动作过程与前两处相同。

如此反复循环，电动机即可旋转起来。

由于霍尔传感器元件的安装位置为空间互差 120°电角度，因此三相绕组轮流通电时间也应为每相 120°电角度。因为功率管的导通和截止是通过传感器传感信号来控制的，所以传感器的位置和三相绕组的位置之间必须有严格的对应关系，在电动机安装时应加以注意。

2. 有刷直流电动机的工作原理

有刷直流电动机工作时，线圈和换向器转动，而铁心、磁钢和电刷不转。下面结合有刷直流电动机的模型图讲述其工作原理。

有刷直流电动机的工作原理如图 2-8 所示。

通电导线在磁场中运动时将受到磁场力的作用。导线受力方向可用左手定则来判定：伸开左手掌，使大拇指与其余四指垂直，让手心垂直迎向磁力线，四指指向电流方向，那么大拇指所指的方向就是导线在磁场中的受力方向。

当线圈转动到图 2-8a 所示的位置时，电动机内、外电路电流的流动方向是：蓄电池正极→正极电刷→换向片→线圈（按 DCBA 方

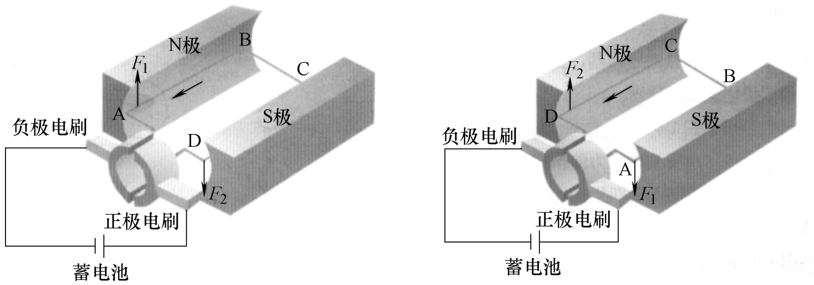


图 2-8　有刷直流电动机的工作原理

向)→另一换向片→负极电刷，最后回到蓄电池负极形成闭合回路。根据左手定则可知，导体 AB 的受力（F_1）方向向上，BC 和 AD 导体不受力，导体 CD 的受力（F_2）方向向下，并且 F_1 与 F_2 的大小相等，方向相反，所以，整个线圈受到顺时针方向的转矩作用而转动。

当线圈转动到线圈平面与磁力线方向垂直的位置时，磁场对通电线圈不产生力的作用。但由于惯性的作用，线圈可通过无作用力的这一盲点。

当线圈转动到图 2-8b 所示的位置时，线圈中的电流方向正与图 2-8a 所示电流方向相反，线圈所受到转矩作用仍按逆时针方向转动。这样当蓄电池连续对电动机供电时，电枢绕组就会按一定方向不停地转动。

一个线圈在磁场中产生的转矩很小，并且转速也不平稳，因此，要使电动机达到较大的转矩，实现持续转动的目的，电枢绕组就需采用多匝线圈，换向片的数量也要成比例增加。

2.1.5　直流电动机的连接

直流电动机的连接主要是与电动机控制器的连接。

1. 无刷电动机与无刷控制器的连接

（1）电路连接

我们以某品牌电动自行车电动机为例。其无刷电动机与无刷控制器的电路连接如图 2-9 和图 2-10 所示，其连接的部件分布如图2-11 所示。

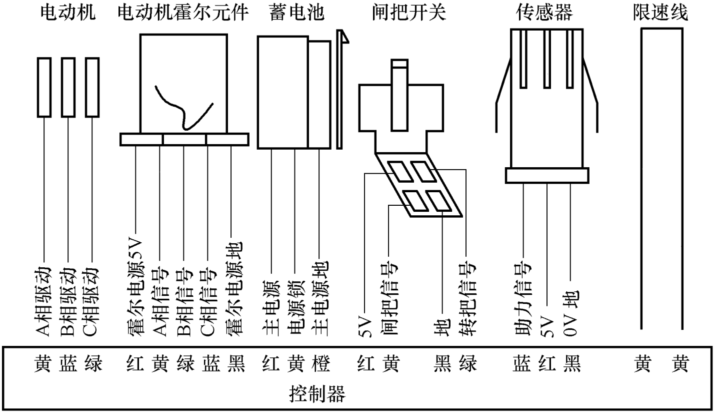


图 2-9　无刷电动机与无刷控制器的电路连接（简易）

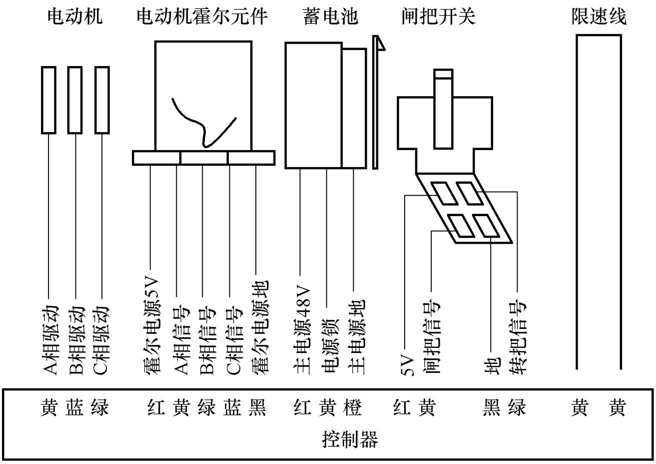


图 2-10　无刷电动机与无刷控制器的电路连接（豪华）

（2）模拟实物连接

我们以某品牌电动自行车电动机为例。其无刷电动机与无刷控制器的模拟实物连接如图 2-12 和图 2-13 所示。

（3）实物连接

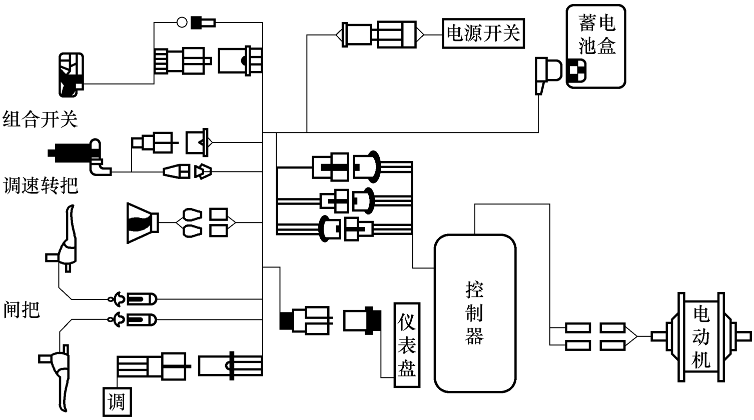


图 2-11 无刷电动机与无刷控制器连接的部件分布

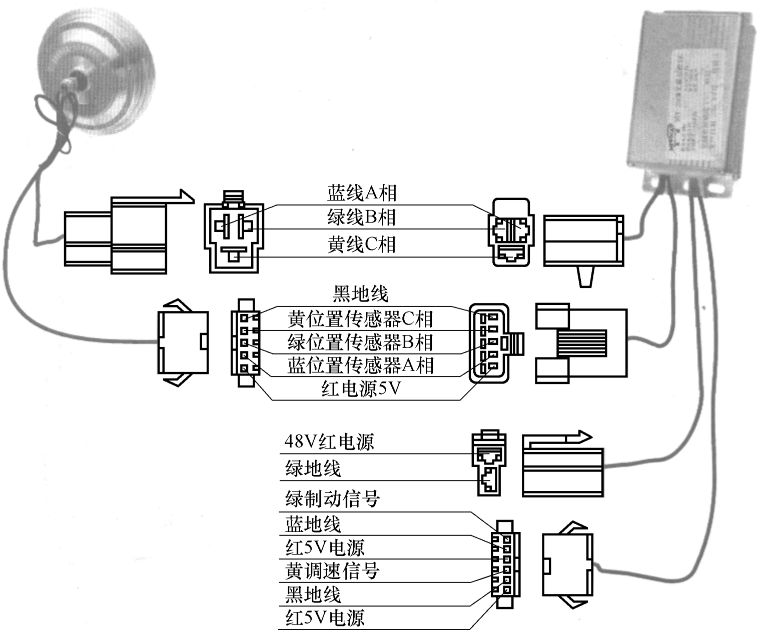


图 2-12 无刷电动机与无刷控制器的模拟实物连接（简易）

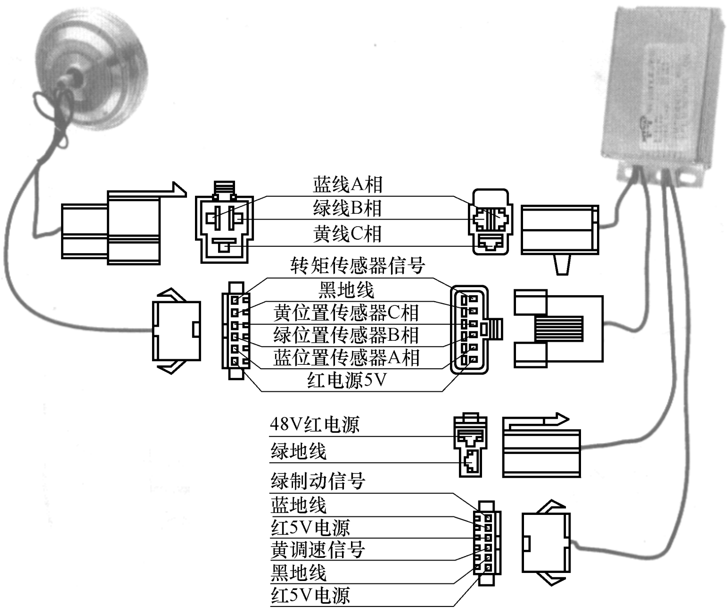


图 2-13 无刷电动机与无刷控制器的模拟实物连接（豪华）

我们以某品牌电动自行车电动机为例。其无刷电动机与无刷控制器的实物连接如图 2-14 所示。

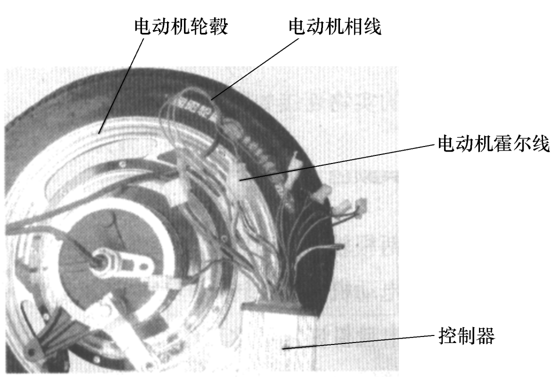


图 2-14 无刷电动机与无刷控制器的实物连接

（4）无刷电动机的引线颜色及其功能

无刷电动机常见的引线颜色见表 2-2，各颜色引线及其功能如图 2-15 所示。

表 2-2　无刷电动机常见的引线颜色

电动机相线			电动机霍尔引线				
A	B	C	电源	接地	a	b	c
蓝	绿	黄	红	黑	蓝	绿	黄
黄	蓝	绿	红	黑	黄	蓝	绿
蓝	白	黄	红	黑	蓝	绿	黄

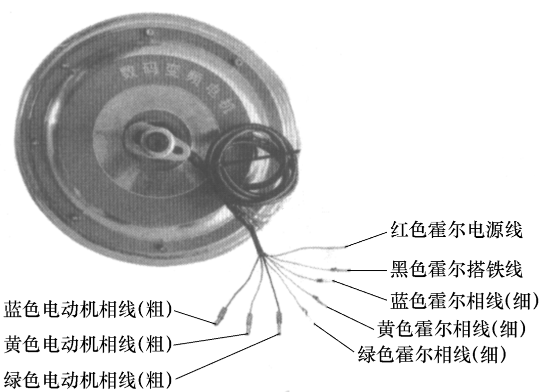


图 2-15　无刷电动机各颜色引线及其功能

如图 2-15 所示，无刷电动机一般有 8 根引线，其中 3 根粗线，即电动机相线（A、B、C），线色一般为黄、绿、蓝；5 根霍尔相线，即 1 根红色霍尔电源线、1 根黑色霍尔地线和 3 根霍尔相线，线色一般为黄、绿、蓝。只有 8 根线一一对应连接，电动机才能正常工作。

无刷电动机与无刷控制器在理论上有 36 种接法，其中有 6 种接法可使电动机转动（3 种正转，3 种反转）。采用其他接法时电动机不转或抖动。

在接线中，若电动机有反转现象，可按下述方法进行处理：

1）将后轮反装；

2）电动机的相线（粗线）A、B 互换插接，同时霍尔相线中的信号线（细线）a、c 也应互换，这样电动机才能正常工作。

2. 有刷电动机与有刷控制器的连接

（1）电路连接

我们以某品牌电动自行车电动机为例。其有刷电动机与有刷控制器的电路连接如图 2-16 所示。

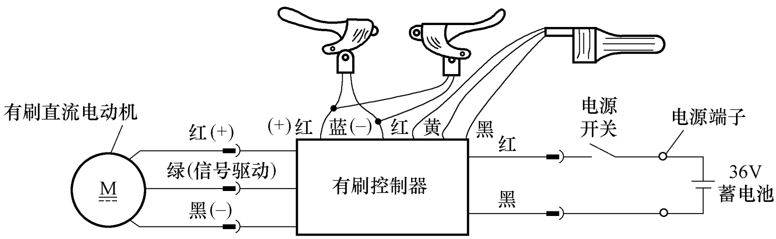


图 2-16　有刷电动机与有刷控制器的电路连接

（2）模拟实物连接

我们以某品牌电动自行车电动机为例。其有刷电动机与有刷控制器的模拟实物连接如图 2-17 所示。

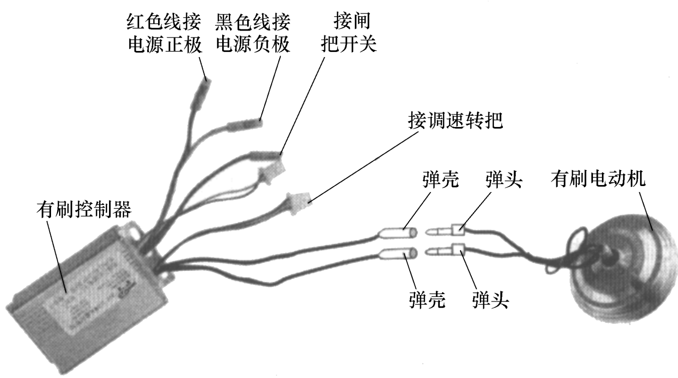


图 2-17　有刷电动机与有刷控制器的模拟实物连接

（3）实物连接

我们以某品牌电动自行车电动机为例。其有刷电动机与有刷控制器的实物连接如图 2-18 所示。

如图 2-18 所示，有刷电动机仅有红色和黑色两条引出线，红色线接正极，黑色线接负极。

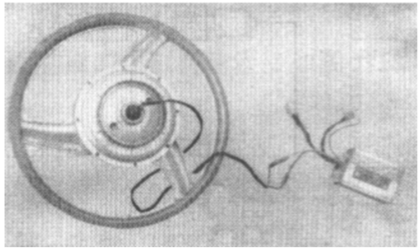


图 2-18　有刷电动机与有刷控制器的实物连接

2.1.6　直流电动机正常与否的判断

电动机的好坏比较容易判断出来，在控制器输出的驱动电压正常时，如电动机不能旋转、旋转无力，或电动机绕组匝间短路扫膛等原因引起控制器内的过电流保护电路动作，使控制器无电压输出，均说明电动机已损坏。

2.2　蓄　电　池

前文我们已经知道，蓄电池是电动自行车的能源中心。而且在第 1.1 节中了解的蓄电池的几个种类——锂离子蓄电池、铅酸蓄电池、镍氢蓄电池和镍镉蓄电池。另外，电动自行车上采用的蓄电池还有燃料电池、锌空气蓄电池等。

但由于铅酸蓄电池的制造技术成熟，且具有一定的生产能力和合适的价位，因此，目前电动自行车普遍都采用铅酸蓄电池。本节我们就铅酸蓄电池做详细的了解。

2.2.1　铅酸蓄电池的外形及结构

1. 铅酸蓄电池的外形

铅酸蓄电池是一种用铅制成极板，以硫酸溶液为电解液的直流蓄电装置。

铅酸蓄电池有两种结构形式，即全密封式免维护免加水铅酸蓄电池和普通需定时加水的铅酸蓄电池，两种结构蓄电池的外形如图2-19所示。

目前电动自行车使用的铅酸蓄电池大多采用电压为 36V，容量为 12A · h 的免维护蓄电池。


a)


b)

图 2-19　铅酸蓄电池的两种结构外形
a）全密封式免维护免加水铅酸蓄电池
b）普通需定时加水的铅酸蓄电池

2. 铅酸蓄电池的基本结构

如图 2-20 所示，铅酸蓄电池主要由外壳、正极板、负极板、隔板、蓄电槽、电解液、液口塞、盖帽和接线柱等组成。

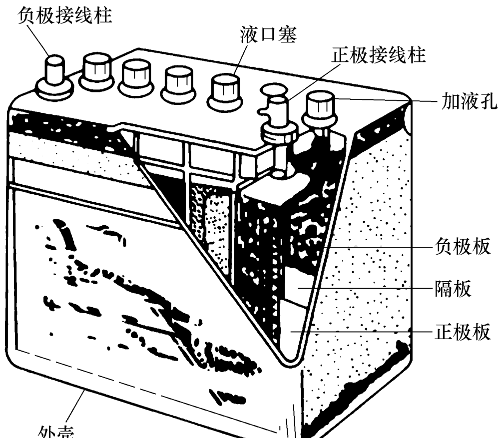


图 2-20　铅酸蓄电池的结构示意图

（1）极板

1）正极板。

正极板由活性物质和支撑用的导体极板栅组成，板栅一般由铅锑合金、铅钙合金组成，活性物质为（PbO_2），颜色为棕色、棕褐色、红棕色。极板栅是决定蓄电池密封性能的重要部件。

2）负极板。

负极板由活性物质和支撑用的导体极板栅组成，极板栅的结构与正极板相同，其活性物质为海绵状金属铅（Pb），颜色为灰色、精选灰色、深灰色。

（2）隔板

隔板安放在蓄电池的正负极板之间，由允许离子穿过的电绝缘材料构成。通常采用 PE、橡胶、塑料、复合玻璃纤维隔板等板材。其作用是将正、负极隔离开，电阻档正、负极短路。

（3）电解液

电解液是含有移动离子导电作用的液相或固相的物质。具有导电的作用，并参加化学反应。铅酸蓄电池电解液的密度与它所使用的场合有关，用于电动自行车蓄电池的电解液密度一般要高于其他场合使用的蓄电池的电解液密度。

（4）蓄电槽

蓄电槽一般采用硬橡胶或塑料制成，用来容纳蓄电池群组和电解液而不受电解液腐蚀的容器。

（5）接线柱

接线柱分为正、负极，用来与使用的电路接通电源。

（6）液口塞

液口塞用来排除充电时所产生的气体、补充纯水及测量比重。液口栓配有盖子，操作使用后将盖子盖上，使蓄电池呈密封状态。

（7）外壳

外壳为塑胶桶装壳体，将所有的零部件组装成一个整体。

2.2.2　铅酸蓄电池的工作原理

铅酸蓄电池把能量以化学能形式存储，需要时化学能以电能释放出来。把电能以化学能形式存储的过程叫充电，需要时化学能以电能释放出来的过程叫放电。如此重复充电和放电，因此也称二次蓄电池。

铅酸蓄电池的整个充电和放电过程都是在电化反应中实现的，我们把铅酸蓄电池作为一个电化反应体系，其电化反应体系是

$$\frac{PbO_2}{\text{正极}} + \frac{H_2SO_4}{\text{电解液}} + \frac{Pb}{\text{负极}}$$

蓄电池在充、放电过程中进行如下的反应：

1. 放电

蓄电池对外做功时开始放电，其内部反应如式（2-1）所示。

外部电流从正极流出，经负载（R）流向负极，内部流向则是从负极流向正极。在蓄电池内部 SO_4^{2-} 离子迁移到正极，负极上的 Pb^{2+} 原子放出两个电子，Pb^{2+} 与 SO_4^{2-} 中和生成 $PbSO_4$，其反应式为

$$Pb + H_2SO_4 - 2e^- \longrightarrow PbSO_4 + 2H^+ \tag{2-1}$$

由于负极上失去的两个电子经外电路流向正极，正极上的二氧化铅从外电路得到两个电子后，Pb^{4+} 离子变成 Pb^{2+} 离子，它和 SO_4^{2-} 反应生成 $PbSO_4$，反应式为

$$PbO_2 + H_2SO_4 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O \tag{2-2}$$

铅酸蓄电池放电如图 2-21 所示。

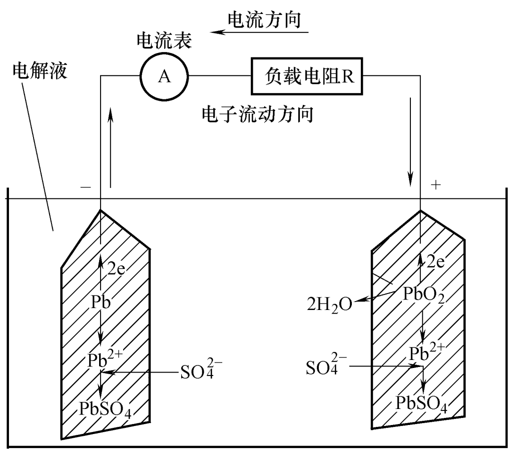


图 2-21　铅酸蓄电池放电示意图

2. 充电

充电是蓄电池的再生功能。充电时，整个电源将负极电子流输送

到蓄电池的正极，负极 $PbSO_4$ 不断地离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-}，Pb^{2+} 离子取得外电路输送来的两个电子，立即还原成多孔金属 Pb。SO_4^{2-} 离子立即和 H^+ 离子还原为硫酸。反应式为

$$PbSO_4 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow Pb + H_2SO_4 \tag{2-3}$$

在正极上 $PbSO_4$ 不断地离解为 Pb^{2+} 和 SO_4^{2-}，Pb^{2+} 离子失去两个电子，被氧化成 Pb^{4+} 离子与水中的 O_2 生成 PbO_2，反应式为

$$PbSO_4 + 2H_2O - 2e^- \longrightarrow PbO_2 + H_2SO_4 + 2H^+ \tag{2-4}$$

由于铅酸蓄电池电解液的主要成分是硫酸和水，在充电时，会使水的成分减少，而使硫酸的成分增加，即电解液密度上升，随着充电时间的延长（4～8h），逐渐恢复到原来的浓度。同时，在充电过程中，两极的活性物质逐渐还原，当两极的活性物质还原到原来的状况时，即表示充电已结束。

铅酸蓄电池充电示意图如图 2-22 所示。

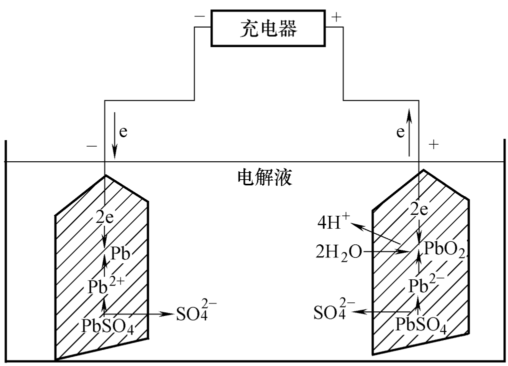


图 2-22　铅酸蓄电池充电示意图

2.2.3　铅酸蓄电池正常与否的判断

铅酸蓄电池使用过程中容量会逐渐衰减，性能逐渐下降，直到寿命终止。为保证蓄电池运行的可靠性、安全性，应及时更换。

我们可以通过以下方法来对铅酸蓄电池的正常与否进行判断。

1. 外观检查

有的蓄电池损坏后表面会出现鼓包等变形现象，所以直观上就可

判断它已损坏。

2. 蓄电池充电时严重发热

当蓄电池的正极出现软化，导致活性物质脱落后，会使内阻增大，极板中的杂质大量脱落，增大了充电时的析气率，不仅会导致蓄电池在充电期间严重发热，而且加重了蓄电池的自放电，导致充电后在很短时间内就没电了。如果打开此类蓄电池安全阀，会发现电解液已经有“发黑发浑”等异常现象。

3. 容量下降

若蓄电池实际放电容量低于额定容量的60%，经维护无明显上升者，可以确定报废。

2.3 控　制　器

控制器（电动机驱动控制器）的功能主要是控制电动机的旋转速度，并对整车的电气系统进行有效的保护。

为了实现密封和便于散热，控制器都被安装在一个铝质或铜质的密封盒内，如图2-23所示。

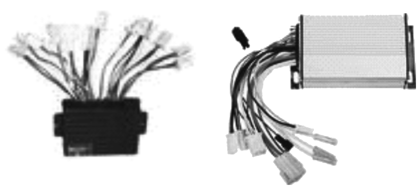
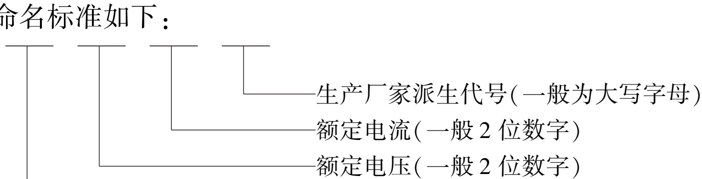


图2-23　控制器外形图

2.3.1　控制器的命名及分类

1. 控制器的命名

根据所要驱动的电动机的形式、参数的不同，要选择的控制器参数也不同。电动自行车用控制器的命名标准如下：



其产品名称代号的含义见表2-3。

我们通过一个例子来做说明。

表 2-3　控制器产品名称代号的含义

名称代号	功　　能	名称代号	功　　能
ZK	有刷电动机用普通型驱动控制器	ZKC	有刷电动机用智能型驱动控制器
WZK	无刷电动机用普通型驱动控制器	WZKC	无刷电动机用智能型驱动控制器

ZK3610C：有刷电动机用普通型驱动控制器，额定电压 36V，额定电流 10A，厂家 C 类产品。

2. 控制器的分类

控制器的类型划分如下。

（1）按所驱动的电动机分类

控制器可分为有刷、无刷和普通三相 3 种。

（2）按输出电压分类

控制器可分为 24V、36V 和 48V 3 种。目前的电动自行车多采用 36V 和 48V 两种。

（3）按结构分类

控制器可分为分离式和一体式两类。

1）分离式，即控制器主体和显示部分都是独立的部件，控制器主体部分通常放置在电动箱内。

2）一体式，即控制器主体和显示部分做在一起，并且安装在车把中间。

（4）按功能分类

控制器可分为多功能的智能型和普通型两类。

2.3.2　控制器的基本功能

电动自行车采用的控制器有多种，但不管哪一种控制器都是采用 PWM 方式（脉宽调制方式）控制电动机的转速，驱动部分一般采用大功率 VMOS 管。控制器具有以下几大功能：

1. 欠电压保护功能

电动自行车都是由蓄电池供电的，而蓄电池是不允许过放电的，否则会缩短蓄电池的使用寿命。因此在控制器上设置了一个放电终止电压，当蓄电池达到终止电压值时，停止对电动机供电，以保护蓄电池不深度放电。保护值因蓄电池特性的不同而有所不同，对于 36V

铅酸蓄电池一般欠电压保护值设定为31.5V，即当蓄电池放电至31.5V时，控制器控制电压无输出，电动自行车无电停转。

2. 无级调速功能

电动自行车的调速形式有光电式和霍尔传感式两种。其调速原理相同，都是由操作调速手柄改变光电传感装置或霍尔传感装置的输出电压，并将此电压通过控制器来控制电动机的电压，以改变电动机的转速，从而实现无级调速的。控制器输送给电动机的电压越高，电动机转速就越快，控制器输送给电动机的电压越低，电动机的转速就越慢。

3. 限流起动功能

如果电路中不设置控制器，电流直接加至电动机，当电动机零速起动时，由于电流过大，会造成强大的机械冲击力，不但会在电刷和换向器之间产生火花，而且反复起动很容易造成电动机损坏。因此大部分电动自行车都采用控制器输入电流限制方式，既可以减少起动冲击，又可保护电动机免受损伤。限流值根据不同车型而定，一般为10～15A。

4. 制动断电功能

电动自行车控制器的制动断电功能是依靠断电制动柄来实现的。根据电动自行车的结构不同，断电制动柄也不一样，一般有机械开关式和霍尔开关式两种。由于霍尔开关式断电制动柄性能良好，使用寿命长，目前大多数电动自行车均采用霍尔开关式断电制动柄。

5. 显示功能

电动自行车控制系统，根据车辆的行驶情况和所使用的蓄电池放电的特性，定性或定量地表达蓄电池电量下降的过程。如行驶速度、行驶里程、电流以及蓄电池当前的存放电情况显示出来。显示的方式有指针式仪表、液晶、荧光数码管、LED发光管等。

2.3.3 控制器正常与否的判断

控制器的好坏比较容易判断，若它有24～48V工作电压，而输出端无驱动电压输出或输出电压不正常，则说明它工作异常。

由于控制器能否输出驱动电压还受闸把和转把输出的信号控制，所以若确认它们输出的信号正常，则检查控制器。

2.4 充 电 器

充电器是给蓄电池补充电能的装置，典型的充电器外形如图2-24所示。



图 2-24　典型的充电器外形图

2.4.1　充电器的命名

例如，TDQC-36-25 型充电器，其中，“TD”代表电动自行车；“Q”代表铅酸蓄电池；“C”代表充电器；“36”代表蓄电池组为 36V 电压；“2”表示充电电流 2A，“5”为设计序号。

2.4.2　充电器的分类及规格

1. 充电器的分类

（1）按构成分类

可分为开关电源式和变压器式充电器。

1）开关电源式充电器对市电直接整流，变为 310V 左右的直流电，然后进行高频转换。它设置了自动调整、控制和保护功能，能够稳压、稳流，具有自动调节功能的装置，并且采用脉冲装置的电路。在充电期间不需人员看护。

目前，电动自行车大多采用这种充电器。

2）变压器式充电器是由工频变压器降压后再由整流电路来控制充电。大部分货运三轮电动车采用变压器式充电器。

（2）按功能分类

可分为普通充电器和脉冲充电器两类。

脉冲式充电器可提高充电能力，防止极板硫化、发热、水分蒸发等，充足电后自动停充，同时可防止新的硫化现象产生。

(3) 按输出功率分类

可分为大功率、中功率和小功率3种。

(4) 按输出电压分类

可分为24V、36V和48V 3种。目前，电动自行车多采用36V和48V两种充电器。

2. 充电器的规格

充电器的规格依据蓄电池的容量不同，有24V、12A；36V、12A；36V、14A；48V、17A；48V、20A和36V/48V共用型充电器。

2.4.3 充电器正常与否的判断

充电器的正常与否比较容易判断，为它输入市电电压后电源指示灯不亮，则说明未工作；若电源指示灯亮，在空载状态下用50V直流电压档测它的输出电压是否正常，若不正常，则说明充电器不正常；若空载电压正常，则拔下市电插头后接好蓄电池组后再输入市电电压，若发现指示灯发光变暗，说明充电器带载能力差。

2.5 转把、闸把和助力传感器

转把、闸把和助力传感器是电动自行车操纵部分的主要器件，下面我们就来做简要的了解。

2.5.1 转把

如图2-25所示，转把用来调整车速。

由于转把输出的信号较弱，不能直接驱动电动机，所以需要通过控制器进行放大后才能对电动机进行调速控制。目前电动自行车采用的转把有普通型转把和组合型转把两种。



a) b)

图2-25 转把

a) 普通型 b) 组合型

2.5.2 闸把

闸把（也叫刹把）的作用是用来制动的。如图2-26所示。闸把的工作原理是先切断控制器输出的驱动电流使电动机停转，

随后再通过制动皮等机械装置对车轮进行制动控制。目前，电动自行车闸把主要有机械型和电子型两种。



a)　　　　　　　　b)

图 2-26　闸把
a）机械型　b）电子型

1. 机械型

机械型闸把就是利用一个机械开关来输出制动信号。此类闸把只需要 2 条引线，其中红色线用于输出控制信号，黑色线用于接地。目前采用的机械型闸把多为常开型，当它内部的开关不闭合时，信号输出线上的电位为高电子，这个高电平信号加到控制器后，控制器输出正常的驱动信号使电动自行车正常行驶；当闸把的开关闭合后，控制线与地线接通，所以控制线上电位变为低电平，这个低电平信号送到控制器后，控制器不再输出激励电压，电动机停转，实现制动控制。

2. 电子型

电子型闸把就是利用一个开关型霍尔组件输出制动信号。此类闸把需要 3 条引线，其中红色线用于 5V 供电，黑色线用于接地，蓝色线用于信号输出。当闸把的控制线无制动信号（低电平或高电平）输出时，控制器输出正常的驱动信号使电动自行车正常行驶；当闸把的控制线输出制动信号（高电平或低电平）后，控制器不再输出激励电压，电动机停止工作，实现制动控制。

2.5.3　助力传感器

助力传感器（见图 2-27）的作用是，当电动车处于助力状态时，检测骑行脚蹬力矩或脚蹬速度信号的装置。控制器根据助力传感器信号的大小，使电动机输出不同的电驱动功率，达到人力与电力的自动

匹配，共同驱动电动自行车行驶。

目前生产的助力传感器都采用智能识别设计，因此具有如下优点：

1）具有前进助力功能；

2）具有静止、反转锁定功能；

3）助力特性平滑；

4）1:1 或 1:2 比例可调；

5）具有非零的启动功能；

6）易于实现模块通用化和接口标准化。



图 2-27　助力传感器

如图 2-27 所示，中间的黑盘是磁盘，有电缆的模块是助力传感器。

电缆是 3 条芯线，它分别是 5V 供电（红色线）、接地（黑色线）、信号输出（绿色线），这 3 条线可与转把线按相同的颜色或功能并联接在一起。

传感器和磁盘安装在中轴的右侧，其中传感器安装在中轴的外架上并用磁帽固定，而磁盘安装在中轴上。这样人力脚踏助力时，磁盘随中轴旋转，被传感器检测后再通过模块放大、整形就形成了脉冲助力信号。该信号由控制器放大后，就会驱动电动机旋转，实现助力控制。

2.5.4　位置传感器

如图 2-28 所示，与有刷电动机不同，直流无刷电动机需要位置传感器来测量转子的位置。



图 2-28　位置传感器

位置传感器又称霍尔传感器，它分以下两种。

1. 光电式位置传感器

也称光电变换开关元件，由光源、光敏接收器件和转动遮光板等 3 部分组成。其结构原理如图 2-29 所示。

2. 磁敏式位置传感器

主要由磁敏元件和霍尔器件及霍尔集成电路等组成。其电气原理如图 2-30 所示。

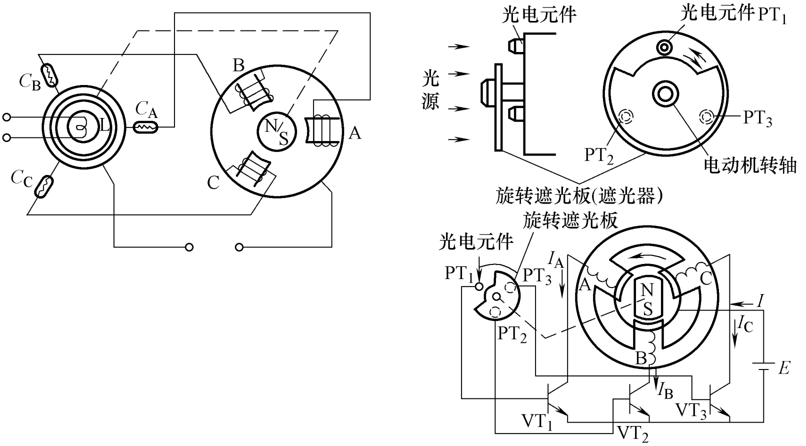


图 2-29　光电式位置传感器结构原理图

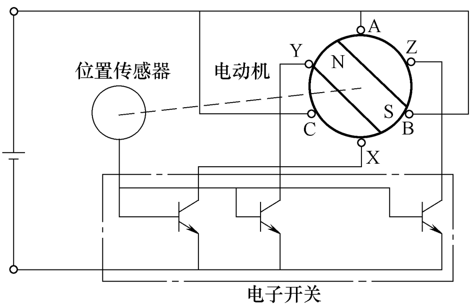


图 2-30　磁敏式位置传感器电气原理图

磁敏式位置传感器的工作原理是：通过改变电动机两端的电压、电流的大小和方向来调节电动机的转速。当主转子 N 极位于主定子绕组 Y 时，垂直换向传感器将产生 X 方向的电动势，则电子开关接通，与此串联的 X 绕组有电流经过，并使主定子绕组 X 极磁化为 S 极，以吸引转子旋转 90°，而 N 极位于主定子绕组 X 时，垂直换向传感器输出为零，水平换向传感器产生 Y 方向的电动势，且定子 Y 极磁化为 S 极，以吸引转子续转 90°，依此类推。因此对不同的主转子位置，换向传感器输出不同的电信号，使主定子绕组按 X→Y→Z→

X→Y 的循环顺序轮流通电，形成旋转磁场使转子旋转。

2.5.5　飞车保护模块

如图 2-31 所示，飞车保护模块是防止电动自行车发生飞车的装置。

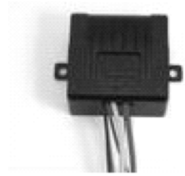


图 2-31　飞车保护模块

由于电动机的绕组是由漆包线绕制而成的感性元件，所以一旦控制器内的末级驱动管被击穿，为电动机绕组提供的电流变为最大，导致车速达到最大，即使强制控制但因电感中的电流不能突变，所以在短时间内车速仍不能降下来，容易引发交通事故，这也就是人们所说的“飞车”现象。

2.6　灯具及仪表

灯具、仪表是电动自行车电气系统的外设装置，下面就来简单地做一了解。

2.6.1　灯具

灯具用于照明、转向和制动指示。

普通的电动自行车仅有大灯，而豪华型电动自行车不仅安装了大灯，而且还安装了转向灯和制动尾灯。

常见的大灯、尾灯及转向灯外形如图 2-32 所示。



图 2-32　常见的大灯、尾灯及转向灯外形图

2.6.2　仪表

如图 2-33 所示，仪表用来显示电源电压、车速、行驶里程以及显示助力、灯具的工作状态。

1. 仪表的类型与结构原理

电动自行车常见的仪表主要以下几种形式。



a)　　　　b)

图 2-33　仪表

a）外形图　b）功能示意图

（1）指针式仪表

如图 2-33a 所示，指针式仪表主要用来显示行驶里程数、整车速度、蓄电池电压、前照灯指示、左右转向灯指示。里程表数字是由 6 个十进制的齿轮计数器组成，电压表采用 50V 直流电压表的表头。

指针式仪表的电路简单，并且不依赖于控制器电路。其故障主要是引线或仪表头。拆装时应注意电源正负极切勿搞错。

闪光器提供间断电压，能使灯泡闪烁，其外壳的引脚标注“B”表示正极，标注“L”则表示负极。

（2）发光二极管仪表

发光二极管类仪表与整车灯具电路分离，它的电路是电子电路，不依赖于控制器电路，能独立工作，其电路原理如图 2-34 所示。

发光二极管仪表的信号采集与处理采用数字逻辑芯片。有的电动自行车能通过仪表板将转把和闸把的信号送给控制器。

发光二极管仪表能模拟指示蓄电池电压的高、中、低档及是否欠电压，目前在电动自行车仪表中广泛应用。

（3）液晶显示仪表

如图 2-33a 所示，液晶仪表是通过专用的霍尔传感器的开关信号，传输给液晶显示仪表总成上的单片机，对单位时间内车轮转动圈数的计数，算出行驶时速，并对行驶时速和行驶时间相乘，计算出整车行驶里程。

也有的无刷电动机控制器内部选用单片机作为译码芯片，能对电

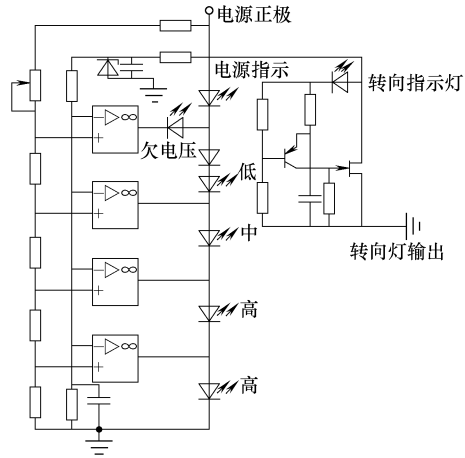


图 2-34　发光二极管仪表电路示意图

动机运行时速和累计行驶里程直接计算出来，输送到液晶显示仪表，这种液晶仪表总成内部就没有单片机。

液晶仪表显示数据精确，但是抗太阳紫外线照射的能力差，环境温度要求高，只能在 -10 ~ 40℃的温度下使用。若长时间在高温或低温环境下使用，将导致液晶屏的不可逆损伤，造成液晶屏的显示数值模糊，甚至无法显示。

不同的液晶仪表，其驱动程序软件与单片机型号不完全相同。

（4）智能显示仪表

智能显示仪表需和相应的智能控制器匹配使用，仪表板上发光二极管的亮和灭的状态受智能控制器的控制。其显示的内容较多，不但能显示蓄电池电压的高、中、低电压和欠电压，还能显示整车处于何种骑行模式。如图 2-35 所示，智能型电动自行车一般有 3 种骑行模式：1∶1助力、电动、定速。

智能显示仪表和控制器配合使用还能检测整车电气控制部件的故障。进行故障自检测时，各发光二极管对应的显示含义如下：

1）各指示灯闪烁 3 次，检测指示灯是否正常工作。

检测时可转动电动机，3 个指示灯应按顺序指示 3 个霍尔器件，若有指示灯没有亮和灭的变化，则说明其中有一个霍尔器件未接触好

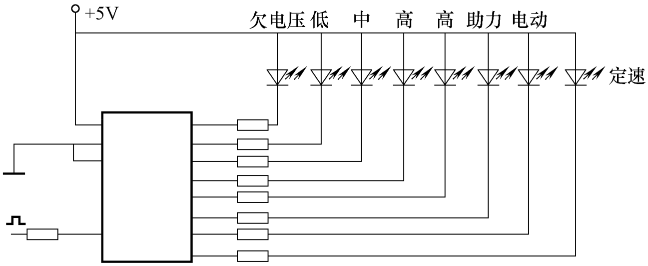


图 2-35　智能显示仪表的显示内容

或损坏。

2）电量指示灯顺序指示 3 个霍尔器件的通电情况与电动机磁钢的位置关系。

用手转动电动机时，3 个指示灯顺序点亮，如果指示灯点亮的顺序是 100、110、011、001、000（其中 1 代表亮，0 代表灭），说明该无刷电动机的相角是 60°；如果指示灯点亮的顺序是 100、110、010、011、001、101，该无刷电动机的相角是 120°。

3）缓慢转动转把，欠电压指示灯的闪烁频率与转把的转动角度呈对应关系。

转把在原始位置，指示灯不闪；转把转动角度越大，指示灯闪的越快，则表示转把信号正常。否则，说明转把损坏或引线接触不良。

4）缓慢转动脚蹬轮盘一圈，定速指示灯闪烁 5 次，说明助力传感器工作正常。否则，表明传感器接触不良，磁钢丢失或极性相反，或距离传感器太远。

5）分别捏左右闸把，电动指示灯亮，说明闸把有效。

6）按下模式转换按钮时，助力指示灯亮，松开则不亮，说明模式转换按钮有效。

2. 速度里程表

速度里程表主要有以下 3 种类型。

（1）磁电系速度里程表

磁电系速度里程表需要在电动自行车的转动部分加装转换齿，将转动速度经软钢缆传给仪表的主轴，其结构如图 2-36 所示。

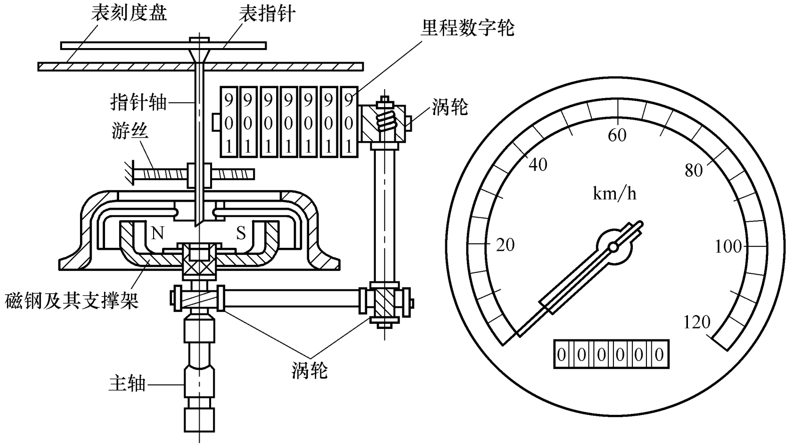


图 2-36　磁电系速度里程表结构示意图

（2）电子式速度里程表

电子式速度里程表主要由以下 3 部分组成。

1）测速部分。如图 2-37 所示，它是一组传感器，分为两个部件：

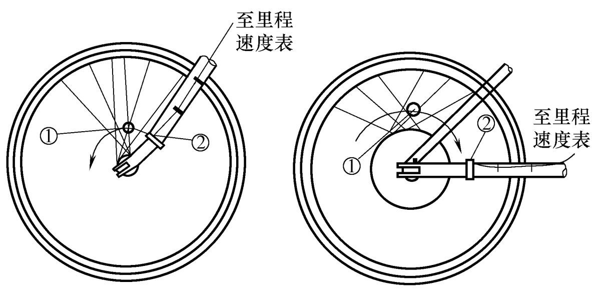


图 2-37　速度里程表的探头

① 磁头，固定在车轮辐条的适当位置。

② 磁敏器件，采用的是霍尔器件，安装在车架（前叉或后叉）与磁头相对位置，车轮每转动一周，磁头与霍尔器件相遇一次，磁场作用于霍尔器件一次，霍尔器件即发出一次信号，送至运算电路。

2）运算电路。它将霍尔器件送来的信号，经运算得出单位时间内行驶的速度，并将数据累加，得出总的里程，最后将结果送至显示部分。

3）显示部分。一般采用液晶显示窗口，只要求速度或只要求里程的，只有一个窗口，大部分是两个窗口。一个显示速度，另一个显示里程，或一个窗口同时显示两种数值。

（3）智能速度里程表

智能控制器盒盖上由发光二极管显示的，发光二极管有 2 只、3 只，有的更多些。这种发光指示只能显示出速度的等级，不能显示出具体的数值。

3. 智能型蓄电池电量监控仪表

智能型蓄电池电量监控仪表是为了防止蓄电池的深度放电，并且避免电动自行车在低且不稳定的供电状态下工作，延长蓄电池的使用寿命。

目前，经济型电动自行车一般用 LED（发光二极管）来显示蓄电池的剩余电量；豪华型电动自行车通常用 LCD（液晶显示器）和 VFD（真空荧光显示器）来显示蓄电池的剩余电量。

4. 转向灯与电子鸣号装置

（1）转向灯

目前，电动自行车使用的转向灯控制方式，常用的有继电器型、电路控制型等。

利用车用主电源，发光管使用数量和串并联情况根据电压大小而定。发光管排列成箭头的形状如图 2-38 所示，箭头应当能够闪烁。一般闪烁需要专用电路，为了简单和降低成本，可以使用闪烁发光二极管，这种发光管是普通发光二极管内加控制芯片 IC，在通电后它可以自己闪烁。

如图 2-38 中特殊标记的箭头部分，每个箭头用 5 ~ 7 个串联，它们只用一个发光二极管控制箭头管电流的通断，箭身部分则还是用普通发光二极管不闪烁。

目前多用按钮式电子开关或配合程序集成电路控制。

发光二极管不仅管径大小不同，而且有发光强弱之分。电动自行

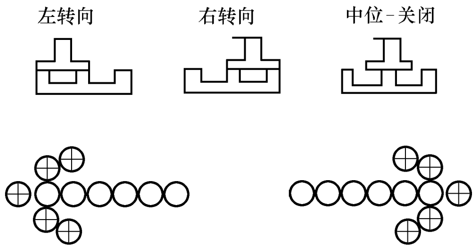


图 2-38　转向灯控制

车应选用强发光管。

（2）电子鸣号装置

电子鸣号装置的工作原理如图 2-39 所示。

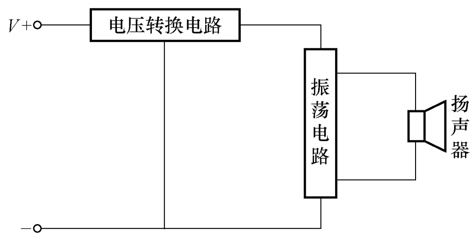


图 2-39　电子鸣号装置的工作原理示意图

电池电压经转换电路转换为 15 ~ 24V 电压供电，振荡电路产生一定频率的 40V 左右的交变电压驱动扬声器（电动自行车喇叭），扬声器采用压电蜂鸣片，经音膜及谐振腔发出洪亮的声音。

第 3 章　电动自行车元器件的识别及检测

3.1　电　阻　器

电阻器一般简称电阻。其主要的物理特征是变电能为热能，电流经过它就产生热能。它在电路中通常起分压分流的作用。对信号来说，交流与直流信号都可以通过电阻器。

3.1.1　电阻器的单位表示及命名

1. 电阻器的单位表示

电阻器的单位用欧姆（Ω）表示。为了对不同阻值的电阻器进行标注，通常使用千欧（kΩ）、兆欧（MΩ）。其换算关系为

$$1\text{M}\Omega = 1000\text{k}\Omega$$

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega$$

2. 电阻器的命名

根据相关标准规定，电阻器产品的型号由 4 部分组成，各部分的含义如下：

1　2　3　4

- 4 —— 序号，用数字表示
- 3 —— 分类，大部分用数字表示，个别用字母表示
- 2 —— 材料，用字母表示
- 1 —— 主称，用字母 R 表示

其中材料代号的含义见表 3-1。

表 3-1　材料代号的含义

符号	T	H	S	N	J	Y	G	I	X	F
含义	碳膜	合成膜	有机实心	无机实心	金属膜	氧化膜	沉积膜	玻璃釉膜	线绕	复合膜

3.1.2 电阻器的分类

根据阻值能否调整，电阻器可分为以下两大类。

1. 固定电阻器

固定电阻器的阻值是不可变的。它又根据材料的不同分为碳膜电阻器、金属膜电阻器、线绕电阻器等。固定电阻器的外形如图 3-1 所示。

固定电阻器在电路中通常用字母“R”表示，其电路符号如图 3-2 所示。



图 3-1 固定电阻器外形图

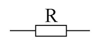


图 3-2 电阻器的电路符号

固定电阻器通常采用以下 3 种标志方法。

（1）直标法

即直接在电阻器的表面表明其阻值，如 100Ω、1kΩ、1MΩ 等。

（2）数字符号法

即在电阻器表面用 3 位数表示其阻值的大小，3 位数的前两位是有效数字，第三位数是 10 的指数，如 101 表示 100Ω；当阻值小于 10Ω 时，以“R”表示，这里的 R 表示小数点，如 5R1 表示 5.1Ω，R22 表示 0.22Ω。

（3）色环标志法

简称色标法，即将表示元件各种参数值的颜色直接标志在产品表面上的一种方法，电阻器表面色环与数字的关系见表 3-2。

表 3-2 电阻器表面色环与数字的关系

颜色	数字	乘数	允许偏差(%)	颜色	数字	乘数	允许偏差(%)
银色	—	10^{-2}	±10	黄色	4	10^4	—
金色	—	10^{-1}	±5	绿色	5	10^5	±0.5
黑色	0	10^0	—	蓝色	6	10^6	±0.2
棕色	1	10^1	±1	紫色	7	10^7	±0.1
红色	2	10^2	±2	灰色	8	10^8	—
橙色	3	10^3	—	白色	9	10^9	−20～5

我们举例来说明。

根据表 3-2，图 3-3a 所示电阻器的阻值为 27000Ω（27kΩ），允许偏差 ±0.5%；图 3-3b 所示电阻器的阻值为 1750Ω，允许偏差 ±1%。

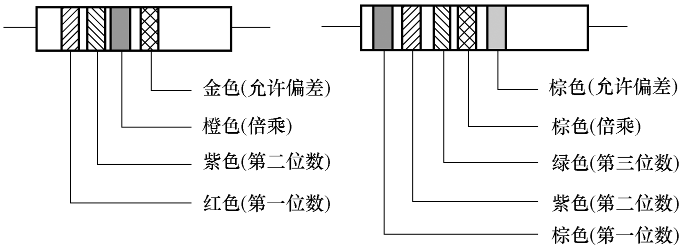


图 3-3　电阻器色环标志示意图

2. 可变电阻器

可变电阻器的阻值是可变的，它又分为以下几种类型。

（1）可调电阻器

可调电阻器即旋转它的滑动端时其阻值是变化的，常见的可调电阻器外形和电路符号如图 3-4 所示。

可调电阻器的阻值标注方法有直标法和数字符号法两种。

（2）压敏电阻器

压敏电阻器即当输入的电压达到标称电压值后阻值急剧减小的电阻器。

压敏电阻器的主要作用是保护电动自行车充电器内部电路不被过高的市电电压损坏，其外形和电路符号如图 3-5 所示。

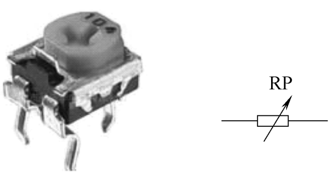


图 3-4　可调电阻器外形和电路符号
a）外形　b）电路符号

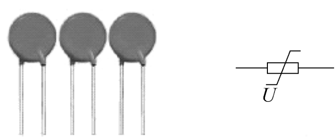


图 3-5　压敏电阻器外形和电路符号
a）外形　b）电路符号

（3）热敏电阻器

热敏电阻器即在不同温度下阻值会变化的电阻器。

热敏电阻器有以下两种类型。

1）正温度系数热敏电阻器，其阻值随温度升高而增大。

2）负温度系数热敏电阻器，其阻值随温度升高而减小。

目前仅部分电动自行车的充电器采用了负温度系数热敏电阻器，而未采用正温度系数热敏电阻器。

热敏电阻器的外形和图 3-5 所示的压敏电阻器基本相同，但颜色多为黑色。

（4）光敏电阻器

光敏电阻器就是在不同强度光照时阻值会变化的电阻器，目前的电动自行车未采用此类电阻器。

3.1.3 电阻器的检测

1. 固定电阻器的检测

有的固定电阻器损坏后表面的颜色会发黑或有裂痕，所以电阻器出现裂痕或变色，则说明该电阻器过电流损坏。

若怀疑的电阻器外观正常，应从电路板上取下后，再按图 3-6 所示的方法判断其是否正常。

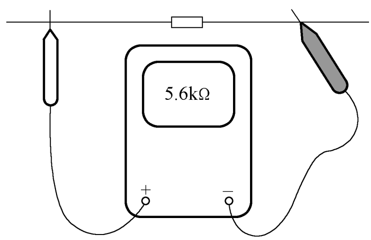


图 3-6　固定电阻器检测示意图

如果测量的阻值与标称值相同，说明该电阻器正常；如果测量的阻值大于标称值，说明该电阻器变值或开路。

2. 可调电阻器的检测

从外观检查可调电阻器接触良好后，应将其从电路板上取下，按图 3-7 所示的方法判断它是否正常。

若 AB 脚间的阻值等于标称值，并且 $R_{AC}+R_{BC}=R_{AB}$ 值，说明该电阻器正常；若阻值大于正常值或不稳定，说明该电阻器变值或接触不良。

3. 压敏电阻器的检测

一般压敏电阻器损坏后，其表面有裂痕或烧焦的痕迹。如表面正

常，可用万用表 R × 10k、R × 100k 档检测压敏电阻器的阻值，如图 3-8 所示。交换表笔后再测一次，如两次测得阻值均为无穷大，则说明被测压敏电阻器合格；否则，说明压敏电阻器已损坏。

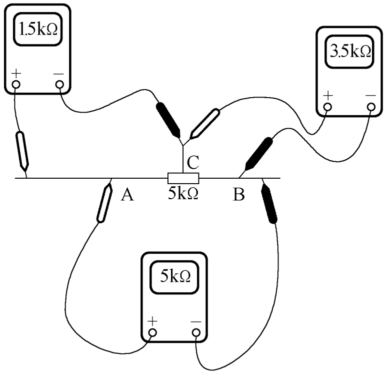


图 3-7　可调电阻器检测示意图

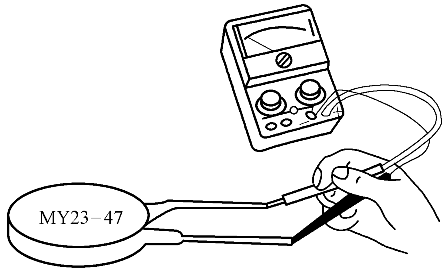


图 3-8　压敏电阻器的检测

4. 热敏电阻器的检测

热敏电阻器可按图 3-9 所示的方法判断其是否正常，若所测的阻值大于标称值，说明热敏电阻器已损坏。测量其冷态阻值正常后，再用电烙铁为它加热时若阻值下降，说明热敏电阻器正常，否则说明其性能下降。

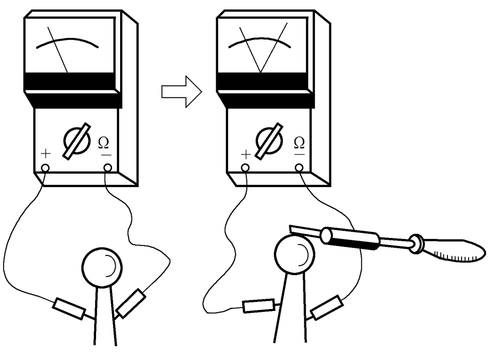


图 3-9　热敏电阻器的检测

a）常温　b）高温

3.2 电 容 器

电容器一般简称电容。它是除电阻器外电动自行车上第二种最常用的电子元件。其主要物理特征是存储电荷。其在电动自行车电路里主要起耦合、滤波、隔直流、延时、调谐的作用。

与电阻器相比，电容器的性能相对复杂一些。它的主要特点是：电容器两端的电压不能突变。就像一个水缸一样，要将它装满需要一段时间，要将它全部倒空也需要一段时间。电容器的这个特性对我们以后分析电路很有用。

在电路中，电容器有通交流、隔直流，通高频，阻低频的特性。

电容器对信号也有阻力，通常把它称为容抗。电容器的容抗随信号频率升高而减小，随信号频率的降低而增大。

3.2.1 电容器的单位表示及命名

1. 电容器的单位表示

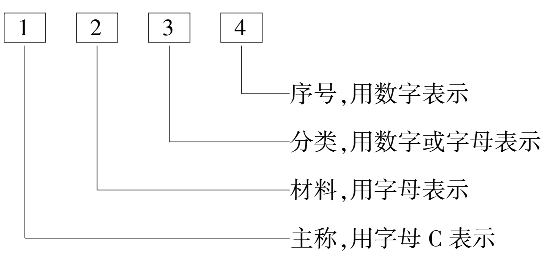
电容器的单位用法拉（F）表示。但 F 这一单位太大，通常使用微法（μF）、皮法（pF）。其换算关系为

$$1\text{F} = 1000000\mu\text{F}$$

$$1\mu\text{F} = 1000000\text{pF}$$

2. 电容器的命名

根据相关标准规定，电容器产品的型号由 4 部分组成，各部分的含义如下：



其中材料代号的含义见表 3-3。

表 3-3　材料代号的含义

符号	G	T	I	O	Y	V	Z	J	B
含义	高频瓷	低频瓷	玻璃釉	玻璃膜	云母	云母纸	纸介	金属化纸	聚苯乙烯
符号	L	Q	H	D	A	N	G	E	
含义	涤纶	漆膜	复合介质	铝电解	钽电解	铌电解	合金电解	其他材料电解	

3.2.2　电容器的分类

常见的电容器外形如图 3-10 所示，电容器在电路中通常用字母“C”表示，其电路符号如图 3-11 所示。



图 3-10　电容器外形图

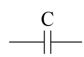


图 3-11　电容器的电路符号

电容器由两个金属极，中间夹有绝缘材料（介质）构成。由于绝缘材料的不同，所构成的电容器的种类也有所不同。

1. 按结构分类

可分为：固定电容器、可变电容器、微调电容器。在电动自行车电路里，最常见到的就是可变电容器。

2. 按介质材料分类

可分为：气体介质电容器、液体介质电容器、无机固体介质电容器、有机固体介质电解电容器。

在电动自行车电路里，最常见到的是瓷片电容器、云母电容器、涤纶电容器、钽电容器等，其中钽电容器特别稳定。

3. 按极性分类

可分为：无极性的普通电容器和有极性的电解电容器。在电动自行车电路里，最常见到的就是有极性的电解电容器。

3.2.3　电容器的检测

电容器除了可用数字万用表的电容档或电容表进行测量外，若手

头仅有指针式万用表，也可按图 3-12 所示的测量电阻的方法进行判别，不同电容器的电阻法测量的阻值见表 3-4。

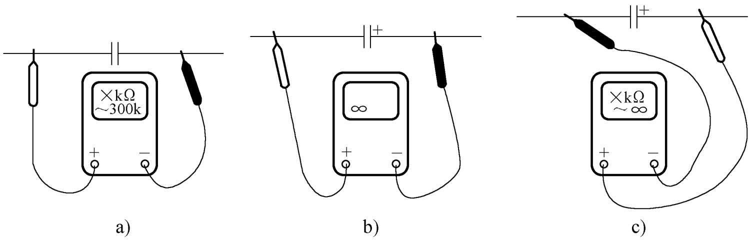


图 3-12　电容器检测示意图

a）无极性电容器测量　b）电解电容器正向电阻测量

c）电解电容器反向电阻测量

表 3-4　电容器的电阻法测量明细表

容量/μF	测量档位	正常时变化范围/kΩ		备　　注
		正向	反向	
<0.01	R×1k	始终为无穷大	始终为无穷大	1. 阻值为 0，说明电容器内部击穿 2. 有阻值，说明电容器漏电
0.01	R×1k	始终为无穷大	始终为无穷大	
	R×10k	250 ~ ∞	250 ~ ∞	1. 阻值为 0 或过小，说明电容器内部击穿 2. 最大值小于 250kΩ 或阻值不稳，说明电容器漏电 3. 电阻值变化的范围小，说明电容的容量减小 4. 电阻值无穷大，说明电容器内部开路
0.47 ~0.56	R×1k	250 ~ ∞	280 ~300	
1	R×1k	300 ~ ∞	300 ~ ∞	
4.7	R×1k	200 ~ ∞	200 ~ ∞	
10	R×1k	40 ~ ∞	40 ~ ∞	
25 ~50	R×1k	100 ~300	150 ~280	
100 ~560	R×100Ω	10 ~280	15 ~250	

3.3 电　感　器

电感器一般简称电感，其外形如图 3-13 所示。



图 3-13　电感器外形图

电感器是一个存储磁能的元件，其主要物理特性就是将电能转换为磁能并存储起来。它在电路中的一些特殊性质与电容刚好相反，电感器主要在电路里起扼流、滤波、调谐、延时、补偿等作用。

3.3.1　电感器的单位表示

电感器的单位是亨（H），常用的有毫亨（mH）、微亨（μH），其换算关系是

$$1H = 1000mH$$

$$1mH = 1000\mu H$$

3.3.2　电感器的分类

电感器在电路图中通常用字母“*L*”表示，其分类方式如下。

1. 按结构分类

电感器可分为固定电感器和可调电感器、微调电感空心电感器和磁（铁）心电感器等。阻流圈、偏转线圈、振荡线圈等也是一种电感器。

2. 按用途分类

电感器可分为立式电感、卧式电感、片状电感等。

电感器的标识方法有直标法和色环法两种。

直标法是将电感量印在电感器上。色环法和电阻器色环法一样，即第 1、2 道色环表示有效数字，第 3 道色环表示倍数，第 4 道色环表示允许偏差，用色环法表示时单位为微亨（μH）。

3.3.3　电感器的检测

测量电感器的参数需要用专门仪器（如电感电容器电桥等），在不具备专用仪器的情况下，可用万用表测试来判断电感器的正常与否。如图 3-14 所示，可用万用表 R×1 档，在断电的状态下测试电感器两端直流电阻，一般高频电感器电阻值为零点几欧；低频电感器阻值为几百欧到几千欧，中频电

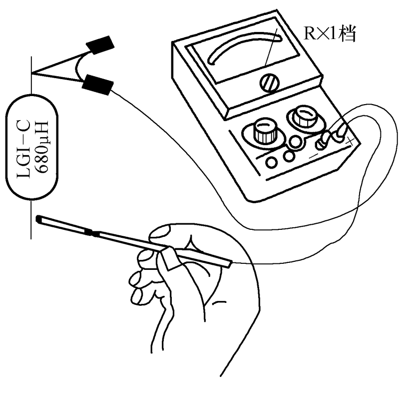


图 3-14　万用表检测固定电感器

感器阻值为几欧到几十欧。

测量时如果表针不动，说明电感器内部断路；如果表针指示不稳定，说明电感器内部接触不良。如果所测电感器线圈匝数较多，测量结果应有一定的阻值。如果所测电阻值为零，说明电感器内部短路。

电感器短路、断路或接触不良时，均不能继续使用。

测试时要注意，有的电感器线圈数较少或线径粗，直流电阻很小，即使用 R×1 档进行测试，阻值也可能为零，这属于正常现象。

3.4 二 极 管

二极管是一种常用的具有一个 PN 结的半导体晶体器件。

3.4.1 二极管的表示

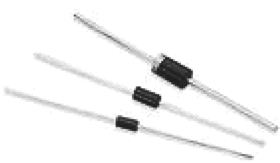
二极管在电路中常用“VD”加数字表示，如 VD5 表示编号为 5 的二极管。

3.4.2 二极管的分类

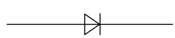
根据电动自行车中二极管的不同作用，可分为普通二极管、变容二极管、稳压二极管、发光二极管等。

1. 普通二极管

普通二极管是利用二极管的单向导电性来工作的，有两个引脚，一般为黑色，在其一端有白色竖条，表示为负极。普通二极管的外形及其电路符号如图 3-15 所示。



a)



b)

图 3-15 普通二极管的外形及其电路符号

a）普通二极管外形 b）普通二极管的电路符号

2. 变容二极管

变容二极管是采用特殊工艺使 PN 结电容随反向偏压变化比较灵



敏的一种特殊二极管。二极管结电容的大小除了与本身结构和工艺有关外，还与外加的反向电压有关。

与普通二极管不同的是，变容二极管需要加反向偏压才能正常工作，即变容二极管的负极接电源的正极，变容二极管的正极接电源的负极。当变容二极管的反向偏压增大时，变容二极管的结电容变小；当变容二极管的反向偏压减小时，变容二极管的结电容增大。

3. 稳压二极管

稳压二极管，一般简称稳压管，它是利用二极管的反向击穿特性来工作的。在电动自行车电路中，它常常用于充电器、控制器。稳压二极管的外形和普通二极管基本相同，它的电路符号如图 3-16 所示。

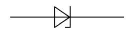
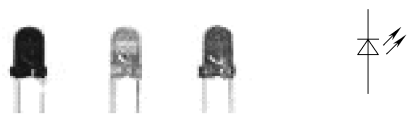


图 3-16　稳压二极管的电路符号

4. 发光二极管

发光二极管在电动自行车中主要被用来作蓄电池能量或充电器的指示灯。

发光二极管一般分为红光、绿光、黄光等几种，它有 2 脚和 3 脚两种：2 脚型发光二极管仅有一个发光管；3 脚型发光二极管通常有两个发光颜色不同的发光管。发光二极管的外形及电路符号如图 3-17 所示。



a)　b)

图 3-17　发光二极管的外形及电路符号

a）发光二极管外形

b）发光二极管的电路符号

发光二极管的工作电流一般为几毫安至几十毫安，发光二极管的发光强度基本上与发光二极管的正向电流呈线性关系。发光二极管只工作在正向偏置状态，正常情况下，发光二极管的正向导通电压为 1.5～3V。

3.4.3　二极管的检测

二极管的检测方法如下。

1. 普通二极管的检测

（1）判别电极

如图 3-18 所示，将指针式万用表置于 R×1k 档，先用红、黑表

笔任意测量二极管两端的电阻值，然后交换表笔再测量一次，如果二极管是好的，两次测量结果必定出现一大一小。以阻值较小的一次测量为准，黑表笔所接的一端为正极，红表笔所接的一端则为负极。

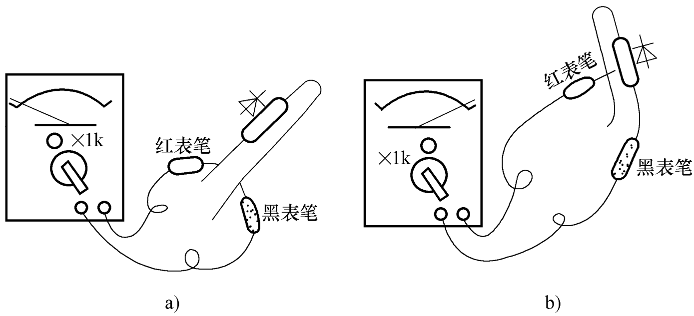


图 3-18 普通二极管的检测

a）反向电阻大 b）正向电阻小

（2）好坏的检测

如图 3-18 所示，将万用表置于 R×100 或 R×1k 档，测量二极管的正、反向电阻值。正常时，锗点接触型二极管的正向电阻在 1kΩ 左右，反向电阻在 300kΩ 以上；硅面接触型二极管的正向电阻在 7kΩ 左右，反向电阻为∞。

一般来说，二极管的正向电阻越小越好，反向电阻越大越好。如果测得的正向电阻太大或反向电阻太小，则说明被测二极管检波与整流效率不好。如果测得正向电阻为∞，则说明二极管的内部断路；如果正向电阻为 0 值时，则说明二极管心短路；如果测得反向电阻接近于零，则说明二极管已经击穿。

值得注意的是，测量小功率二极管时，不宜使用 R×1 或 R×10k 档，这是因为 R×1 档电流太大，R×10k 档电压过高，都容易烧坏二极管。

2. 稳压二极管的检测

（1）判别普通二极管和稳压二极管

可用万用表 R×10k 高阻档（最好是 22.5V 电池供电的高阻档）测试。

如果所测的是普通二极管，由于二极管的反向电压都大于 25V，所以正、反向电阻差别很大（正向约几千欧，反向接近无穷大）。

如果测的是低于 22.5V 的稳压二极管，其正向电阻为几千欧；由于万用表的电压大于稳压二极管的反向击穿电压，稳压二极管反向也处于导通状态，反向电阻也为几千欧。

因此，用万用表高阻档测试二极管时，正、反向电阻差别大的就是普通二极管，正、反向电阻接近的就是稳压二极管。

如果普通二极管的反向电压低于高阻档内部电池的电压，或稳压二极管的稳压值高于高阻档内部电池的电压，这种方法就不适用了。

（2）判别稳压二极管的极性和好坏

用万用表检测稳压二极管的方法如图 3-19 所示。

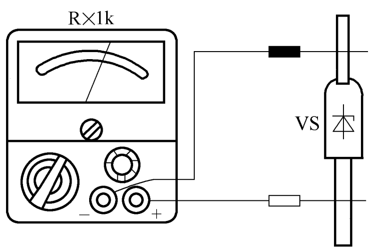


图 3-19　稳压二极管的检测

可用万用表 R×1k 档（注意：万用表的电池电压不能大于被测管的稳压值），用红、黑表笔分别与稳压二极管的两脚相碰，记住此时万用表针指示的位置。

交换表笔后再去碰两脚，比较两次测试的结果，正向电阻越小而反向电阻越大，说明此稳压二极管性能越好。如果正、反向电阻均很大或很小，则说明稳压二极管开路或击穿短路，不能使用；如是正、反向电阻比较接近，则说明稳压二极管已失效，也不能使用。

和普通二极管相似，两次测试中电阻值小的那次测试，与黑表笔相碰的脚为稳压二极管的正极，另一脚则为负极。

3. 发光二极管的检测

检测发光二极管的好坏用数字万用表比较方便，将数字万用表置于“二极管”档，把红表笔放于发光二极管一端，黑表笔放于另一端，看发光二极管是否发光，将表笔反过来再测一次，两次测量中有一次发光是正常的，否则说明该发光二极管已损坏。

3.5 晶体管

晶体管是一种常用的具有两个 PN 结的半导体晶体器件，其外形如图 3-20 所示。

常用晶体管的管脚排列（从底部看）如图 3-21 所示。

晶体管它的应用十分广泛，在电路中通常用起电流放大与开关作用。

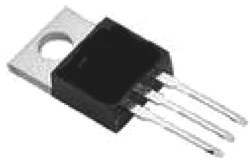


图 3-20　晶体管外形图

晶体管有 3 个电极。目前制作晶体管的材料主要有硅和锗两种，每一种材料的晶体管根据结构不同又分为 NPN 型与 PNP 型。晶体管有塑封和铁封两种。

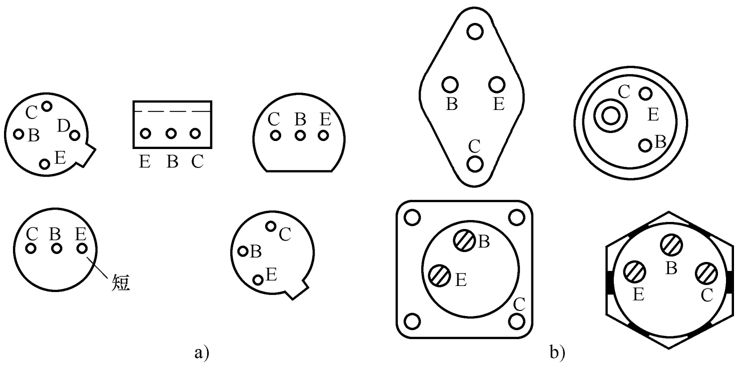


图 3-21　常用晶体管的管脚排列

a）中小功率晶体管　b）大功率晶体管

3.5.1　晶体管的表示

晶体管在电路中用“V”或“VT”（旧文字符号为“Q”、“GB”等）表示，其电路符号如图 3-22 所示。

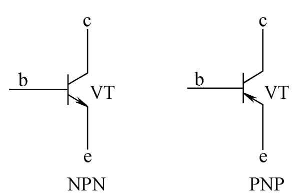


图 3-22　普通晶体管的电路符号

3.5.2　晶体管的分类

目前，电动自行车中常用的晶体管从电路结构上可分为以下几种：

1. 普通晶体管

部分大功率晶体管的外形和双二极管（即两个二极管组成的器件，也为 3 个引脚）、场效应晶体管极为相似，判断时应注意区分，以免造成误判。

用数字万用表测量管子基极和发射极 PN 结的正向压降，硅管的正向电压降一般为 0.5 ~0.8V，锗管正向电压降一般为 0.2 ~0.4V。

2. 带阻晶体管

带阻晶体管是由一个晶体管及 1 ~2 个电阻组成的。

带阻晶体管相当于一个开关电路使用，当晶体管饱和导通时 I_C 很大，C-E 结电压降较小，当晶体管截止时 I_C 很小，C-E 结电压降较高，约等于 V_{CC} 供电电压，管中的内置电阻决定管子的饱和深度，基极电阻越小，管子导通程度越强，C-E 结电压降越低，但该电阻不能太小，否则会影响开关速度。

带阻晶体管外观上与普通晶体管几乎相同，要区分它们只能通过万用表进行测量。

3. 光敏晶体管

光敏晶体管的导通信号是光信号，早期的电动自行车采用此类晶体管用于车速调整，光敏晶体管的电路符号如图 3-23 所示。



图 3-23　光敏晶体管的电路符号

3.5.3　晶体管的检测

1. PNP 型和 NPN 型晶体管的判断

用万用表的 R ×1k 档检测晶体管是 PNP 型或 NPN 型时，用红表笔接基极，黑表笔接发射极或集成电极。如所测阻值小于 1kΩ，说明被测晶体管是 PNP 型；如果所测阻值为 5 ~10kΩ，说明被测晶体管是 NPN 型。

2. 晶体管引脚的检测

晶体管引脚的检测方法如下：

（1）判定基极

用万用表 R ×100 档测量 3 个引脚中每两个引脚之间的正反向电阻。当用第一根表笔接某一引脚，而第二根表笔先后接另外两个引脚均测得低阻值时，则第一根表笔所接的那个引脚即为基极。同时注意表笔的极性，如果黑表笔接基极，红表笔分别接在其他两极时，测得

电阻都较小，则可确定晶体管为 NPN 型（见图 3-24）；反之即为 PNP 型。

根据锗管比硅管 PN 结正向电阻小的特点，在上述测试中还可判断出被测管是锗管还是硅管。

（2）判定集电极和发射极

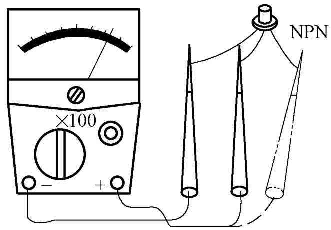


图 3-24　判断晶体管基极

找到基极并确定为 NPN 型管后，在剩下的两个引脚中可先假定一个为集电极，另一个为发射极，按图 3-25a 所示的方法测试其放大作用；如确定为 PNP 型晶体管，则按图 3-25b 所示的方法测试，并记住表针偏转的位置。然后把假设反过来，即把刚才所用电路中 c、e 脚对换一下（表笔和电阻位置不变），再测试其放大作用。比较两次测量结果，其中表针偏转角度大（电阻小）的那次假设是正确的，因为 c、e 正确使用时，晶体管的放大倍数较大。

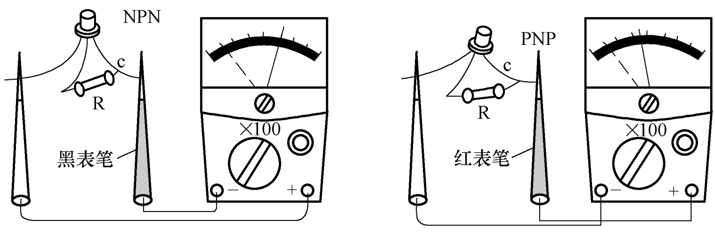


图 3-25　检测晶体管的放大能力

a）NPN 管　b）PNP 管

3. 检测放大能力

检测时可按图 3-25 连接，此时表针应向右偏转，偏转的角度越大，说明放大倍数 β 越大。如果加了电阻 R 之后表针变化不大，或根本不变，则说明晶体管的放大作用很差或已损坏。

检测硅管时，电阻 R 值可在 50～100kΩ 之间选用；检测锗管，R 阻值可在 1～20kΩ 之间选用。也可利用人体电阻，即用手用力捏住 c、b 两脚（但 c、b 间不能短路）来代替电阻 R。

对于大功率管放大能力的检测，电阻 R 的取值应适当降低，如

取几百欧或几千欧，此时万用表的档位应改为 R×10 或 R×1 档。

4. 晶体管好坏的检测

电动自行车 PCB 上晶体管的主要故障有断线开路、击穿短路、漏电及稳定性差等。

晶体管的好坏可用万用表的 R×100 档或 R×1k 档测量。

（1）NPN 管好坏的检测

检测 NPN 型晶体管时，先将黑表笔放在晶体管基极 b，然后分别将红表笔放在集电极 c 和发射极 e，两次都应有读数，而且比较近似；反过来把黑表笔放在基极 b，红表笔放在集电极 c 和发射极 e，无论表笔怎样连接都应该没有读数。否则，说明该晶体管已损坏。

在采用数字万用表测试 NPN 型晶体管时，应该用红色表笔接 b 极，黑色表笔接 c 极和 e 极；而测试 PNP 型晶体管时则应相反。

（2）PNP 管好坏的检测

检测 PNP 型晶体管时，用红表笔接其 b 极，黑表笔分别接发射极 e 和集电极 c，所测阻值为发射集 e 和集电极 c 之间的正向电阻，该正向电阻越小越好。对换表笔后，用黑表笔接基极 b，红表笔分别接发射极 e 和集电极 c，所测阻值为反向电阻，该反向电阻越大越好。如所测晶体管的正向电阻为零时，说明晶体管已损坏。

3.6 变 压 器

变压器，即变换电压的器件。它由线圈、磁心（铁心）和骨架等 3 部分构成。其作用是传输交流，隔离直流，可实现电压变换、阻抗变换和相位变换等。

3.6.1　变压器的电路符号

变压器的电路符号如图 3-26 所示。

3.6.2　变压器的分类

变压器的分类形式如下。

1. 按变压器的形式

变压器可分为电源变压器、音频变压器、中频变压器和高频变压器等。

2. 根据结构与制作材料不同

变压器可分为铁心变压器和磁心变压器。铁心变压器用于低频电路，而磁心变压器用于高频电路。

电动自行车中采用的主要有工频变压器和开关变压器。如图3-27所示。

低频变压器用于普通降压型充电器中，高频变压器应用在开关电源型充电器中。

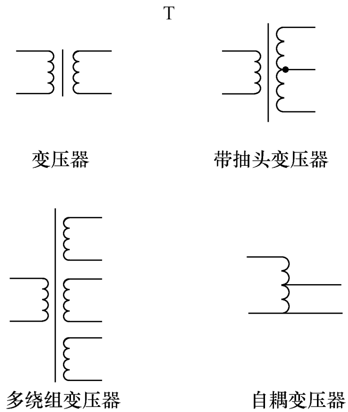
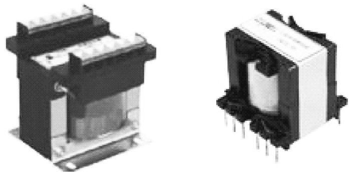


图 3-26　变压器的电路符号

3.6.3　变压器的检测

用万用表的 R×1 档测量变压器绕组的电阻时，万用表的两只表笔不分正负直接与被测绕组的引线相连。正常时，万用表应有一定的数值显示，如图 3-28 所示。如所测阻值接近零，说明该绕组内部短路；如测量时万用表表针不动，说明该绕组内部断路。



a)　　b)

图 3-27　变压器

a）开关变压器　b）工频变压器

用万用表的 R×10k 档测量每两个独立绕组之间的绝缘电阻或绕组与铁心之间的绝缘电阻，均应为∞；否则，说明该变压器绕组短路或绝缘性能差。如果变压器绕组短路、断路或绝缘性能差，均不能继续使用。

1. 开关变压器的检测

可用万用表欧姆档测每个绕组的阻值，正常时阻值多在 1Ω 以内或为几欧姆。变压器的故障率较低，但有时也会出现绕组匝间短路或绕组引脚根部开路的现象。如果出现匝间短路后，会产生开关电源不能起振或开关管击穿的故障。由于匝间短路不易用万用表测出，所以最好采用同型号的开关变压器代换检测。引脚根部出现开路现象后，

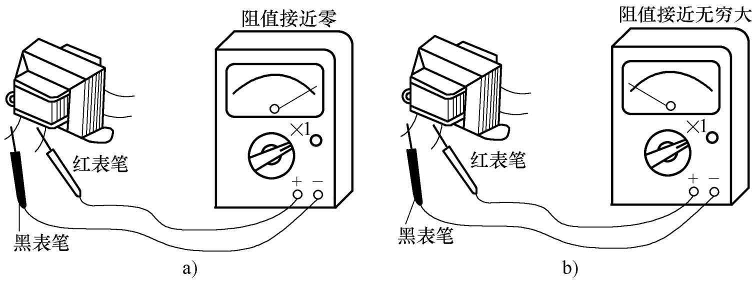


图 3-28　变压器的检测
a）绕组内部短路的检测　b）绕组内部断路的检测

多会导致开关电源没有电压输出，这种情况下可直接更换或拆开变压器接好开路的部位。

2. 工频变压器的检测

其检测方法和开关变压器相同，但它的绕组阻值相对较大。另外，采用测量二次绕组输出的交流电压的方法也比较方便。

必须注意的是，许多工频变压器的一次绕组与接线端子之间安装了温度熔丝管，一旦市电升高或负载过电流引起变压器过热时，该熔丝管会熔断。只要小心拆开一次绕组，即可发现该熔丝管。更换后，即可修复变压器，应急修理时也可用导线短接。

3.7　场效应晶体管

场效应晶体管也是一种常用的半导体器件，通常在模拟电路中作为放大器件使用，在数字电路中作开关器件使用。

场效应晶体管与晶体管很相似，但两者的控制特性却截然不同，晶体管是电流控制器件，通过控制基极电流来达到控制集电极电流或发射极电流的目的，即需要信号源提供一定的电流才能工作，所以它的输入阻抗较低。而场效应晶体管则是电压控制器件，它的输出电流取决于输入电压的大小，基本上不需要信号源提供电流，所以它的输入阻抗较高。

此外，与晶体管相比，场效应晶体管具有开关速度快、高频特性好、热稳定性好、功率增益大及噪声小等优点，因而在电动自行车电

路中得到广泛的应用。

3.7.1　场效应晶体管的分类

场效应晶体管的分类形式如下。

1. 按功能分类

场效应晶体管按功能可分为普通场效应晶体管和组合场效应晶体管。

2. 按结构分类

场效应晶体管按结构的不同可分为结型场效应晶体管和绝缘栅（金属氧化物）场效应晶体管两种类型。

其中，绝缘栅场效应晶体管又分为 MOS 场效应晶体管和 VMOS 场效应晶体管两种。

3. 按导电沟道分类

场效应晶体管按导电沟道可分为 N 型沟道、P 型沟道场效应晶体管。

4. 按栅极数目分类

场效应晶体管按栅极数目可分为单栅、双栅场效应晶体管。

3.7.2　场效应晶体管的识别

1. 结型场效应晶体管

结型场效应晶体管有栅极 G、漏极 D 和源极 S。它与普通晶体管相比较，源极 S 相当于发射极 e，栅极 G 相当于基极 b，漏极 D 相当于集电极 c。其外形和引脚如图 3-29 所示。

两种结型场效应晶体管的电路符号如图 3-30 所示。

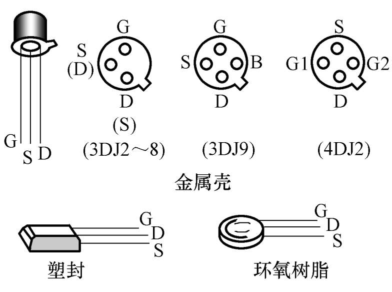


图 3-29　常见结型场效应晶体管的外形和引脚排列

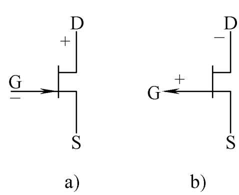


图 3-30　两种结型场效应晶体管的电路符号

a）结型 N 沟道　b）结型 P 沟道

2. MOS 场效应晶体管

MOS 场效应晶体管由于栅极 G 和其他两极（D 和 S）之间隔了一层二氧化硅绝缘层，所以输入电阻极高（$10^9\Omega$ 以上），通常称为 MOS 管。MOS 管有 N 沟道、P 沟道、增强型和耗尽型 4 种类型。其外形与电路符号如图 3-31 所示。

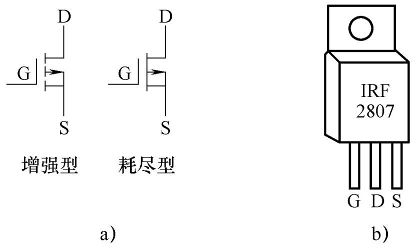


图 3-31　MOS 场效应晶体管的外形与电路符号

a）MOS 场效应晶体管的电路符号

b）MOS 场效应晶体管的外形

3. VMOS 场效应晶体管

N 沟道 VMOS 场效应晶体管的引脚分别是栅极 G、漏极 D、源极 S 和衬底 B，通常将衬底（又称衬极）与源极 S 相连，所以，从场效应晶体管的外形来看还是一个三端电路组件。其引脚的排序也是以管键为定位点，按顺时针方向依次为 D、G、S。VMOS 场效应晶体管的外形及电路符号如图 3-32 所示。

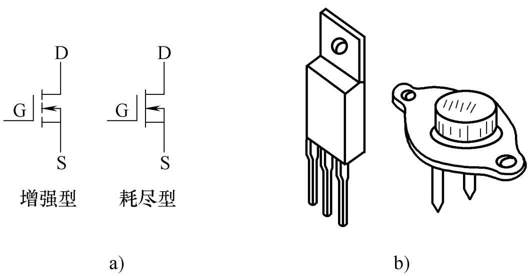


图 3-32　VMOS 场效应晶体管的外形及电路符号

a）VMOS 场效应晶体管的电路符号　b）VMOS 场效应晶体管的外形

3.7.3　场效应晶体管的检测

下面，我们针对前面所讲的几种场效应晶体管，说明其检测方法。

1. 结型场效应晶体管的检测

（1）沟道的区分

如图 3-33 所示，将万用表拨到 R×1k 档，黑表笔接一个极，红

表笔轮流碰其余两个极，如阻值很大，说明都是反向电阻，这是 N 沟道管，黑表笔接的是栅极。相反，接法不变，但电阻都很小，这是 P 沟道管，黑表笔接的仍然是栅极。

（2）电极的判别

根据场效应晶体管的 PN 结正、反向电阻值不一样的现象，可以判别出结型场效应晶体管的 3 个电极。对于有 4 个引脚的结型场效应晶体管，另外一极就是屏蔽极（使用中接地）。

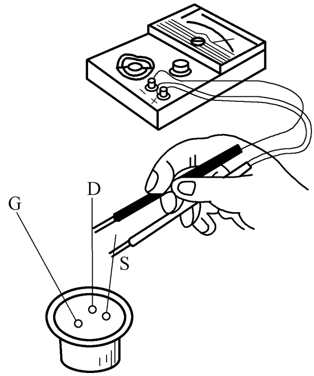


图 3-33　结型场效应晶体管的检测

栅极 G 与沟道型的判定。栅极 G 与沟道型的判定有如下两种方法。

1）将万用表置于 R×100 档，用黑表笔（或红表笔）任意接触一个电极，另一只表笔依次去接触其余的两个电极，测其电阻值。

当出现两次测得的电阻值近似相等时，且为低阻值（几百欧姆至一千欧姆），则说明所测的是结型场效应晶体管的正向电阻，此时黑表笔接触的电极为栅极 G，其余两电极分别为漏极 D 和源极 S，判定为 N 沟道场效应晶体管；如两次测出的电阻值均很大，则说明均为结型场效应晶体管的反向电阻，黑表笔所接的也是 G 极，但被测管不是 N 沟道类型，而是 P 沟道类型。

如不出现上述情况，可以调换黑、红表笔按上述方法进行测试，直到判别出 G 极为止。

2）将万用表置于 R×1k 档，任选两个电极，分别测出其正、反向电阻值。当某两个电极的正、反向电阻值相等，且为几千欧姆时，则该两个电极分别是漏极 D 和源极 S。因为对结型场效应晶体管而言，D 极和 S 极可互换，剩下的电极肯定是 G 极。

3）D 极和 S 极的判定。结型场效应晶体管的 3 个引脚一般是呈 G、D、S 排列的（商标面向上，引脚正对自己），金属封装的结型场效应晶体管排列则以管键为定位点，一般按逆时针 G、D、S 排列。由于结型场效应晶体管的源极和漏极在结构上具有对称性，所以一般

可以互换使用，通常两个电极不必再进一步区分。在需要区分 D、S 极的场合下，也可以利用万用表测量两个电极之间的电阻值进行判定。具体方法如下：

将万用表置于 R×10 档，用红、黑表笔卡住要判断的 D、S 极上，分别测量极间的正、反向电阻值。当测得阻值为较大值时，用黑表笔与 G 极接触一下，然后再恢复原状。在此过程中，红、黑表笔应始终与原引脚接触，此时万用表的读数会出现两种情况：

1）如读数由大变小，则万用表黑表笔所接的引脚为 D 极，红表笔所接的引脚为 S 极。

2）如万用表读数没有明显变化，仍为较大值，此时就应把黑表笔所接的引脚保持接触，然后移动红表笔与 G 极触碰一下。此时如阻值由大变小，则黑表笔所接的引脚为 S 极，红表笔所接的引脚为 D 极。

（3）检测放大能力

将万用表置于 R×100 档，红表笔接 S 极，黑表笔接 D 极，测出漏源极间的电阻值。然后用手捏住结型场效应晶体管的 G 极，将人体的感应电压信号加到 G 极上，由此可能观察到万用表的表针有较大幅度的摆动。无论表针摆动方向如何，只要表针摆动幅度较大，就说明晶体管有较大的放大能力。如果手捏 G 极时，表针摆动较小，则说明晶体管的放大能力较差；如表针根本不摆动，则说明晶体管已经失去放大能力。

必须注意的是，每次测量完毕后应将 G、S 极间短路一下。这是因为 G-S 结电容上会充有少量电荷，建立起 V_{GS} 电压，造成再次进行测量时表针可能不动，只有将 G、S 极间电荷短路放掉才行。

2. MOS 场效应晶体管的检测

MOS 场效应晶体管有源极 S、漏极 D 和第一栅极 G_1 与第二栅极 G_2，应分别测量场效应晶体管的 S 极与 D 极、G 极与 S 极、G 极与 D 极、G_1 极与 G_2 极之间的电阻阻值来判断 MOS 管的好坏。

（1）检测源极 S 与漏极 D 之间的电阻阻值

检测时，将指针万用表置于 R×1 或 R×100 档，红表笔接 S 极，黑表笔接 D 极。正常时，所测得的电阻阻值应在几十欧至几千欧。

对调两支表笔，其读数应与前者一致。如两次检测的数值不同，则说明该场效应晶体管已损坏。

（2）检测源极 S 与其他电极之间的电阻阻值

将指针式万用表两支表笔分别接 S 极与 G_1、S 极与 G_2、G_1 极与 G_2 极，进行分别测量；之后，对调表笔再予以分别测量。上述各种情况所测得的电阻值均应是无穷大。如上述各种情况检测的阻值过小或为通路，则说明该场效应晶体管质量过差或损坏。

3. VMOS 场效应晶体管的检测

（1）栅极 G 的判别

使用指针式万用表检测时，将万用表拨至 R×1k 档分别测量 3 个引脚之间的电阻值。因为栅极 G 与另两个引脚是绝缘的，如发现某引脚与其两引脚的电阻均呈无穷大，并且在调换表笔后仍为无空大，则可判断此脚为 G 极。

（2）源极 S、漏极 D 的判别

VMOS 场效应晶体管在源极与漏极之间有一个 PN 结，可根据 PN 结正、反向电阻存在差异来判别是 S 极或 D 极。测量时，将两表笔交换测量两次，其中电阻较小的一次为正向电阻，此时黑表笔所接的引脚为 S 极，红表笔所接的引脚为 D 极。

（3）VMOS 场效应晶体管好坏的检测

检测时应将 G 极与 S 极短路，把指针万用表置于 R×1 档，黑表笔接 S 极，红表笔接 D 极。正常时所测得的电阻值在几欧至十几欧，说明该场效应晶体管质量是好的；如测得的阻值过大或为零，则说明该场效应晶体管已损坏。

3.8 晶闸管

晶闸管，主要应用在充电器中，可用作可控直流电源、交流调压开关，无触头继电器及变频、调速等。其外形如图 3-34 所示。

3.8.1 晶闸管的分类及识别

晶闸管有单向晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管、光控晶闸管等。下面我们重点来了解单向晶闸管和双向晶闸管。



图 3-34　晶闸管外形图

1. 单向晶闸管

单向晶闸管是由 3 个 PN 结构成的四层三端器件，它的结构和电路符号如图 3-35 所示。

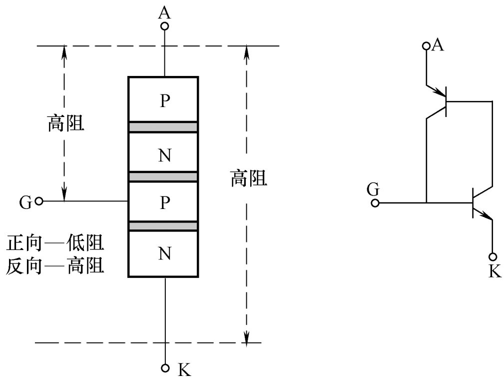


图 3-35　单向晶闸管的结构和电路符号

a）单向晶闸管结构图　b）单向晶闸管的电路符号

单向晶闸管的 3 个引脚功能分别是：G（门极）、A（阳极）、K（阴极）。

2. 双向晶闸管

双向晶闸管的结构为两个单向晶闸管反向并联，所以它具有双向导通特性，即只要门极 G 输入触发电流后，无论 T_1、T_2 间的电压方向如何，它都能够导通。

双向晶闸管的等效电路及电路符号如图 3-36 所示。

3.8.2　晶闸管的检测

1. 单向晶闸管的检测

（1）单向晶闸管电极的检测

单向晶闸管的 G 极与 K 极之间是一个 PN 结，所以只有这两个引脚间具有单向导通特性，而其余引脚间的阻值应为无穷大。如图3-37所示，将指针式万用表置于 R×1 档，任意测单向晶闸管两个引脚的阻值，测试中出现数十欧阻值时，说明黑表笔接的引脚为 G 极，红表笔接的是 K 极，剩下的引脚为 A 极。

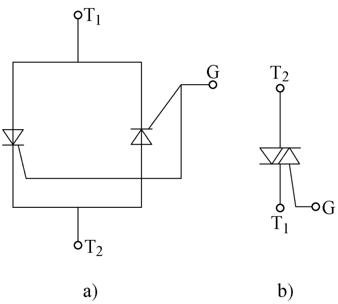


图 3-36　双向晶闸管

a）双向晶闸管等效电路图

b）双向晶闸管的电路符号

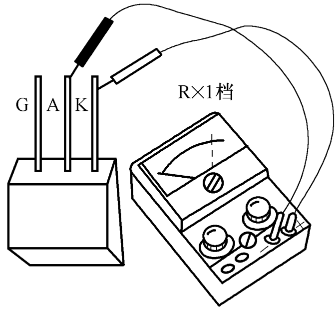


图 3-37　单向晶闸管的检测

（2）单向晶闸管好坏的检测

选用万用表 R×1 档，将指针式万用表的红表笔接 K 极，用黑表笔瞬间短接 A 极和 G 极，随后测 A 极和 K 极之间的阻值，如为几十欧，说明晶闸管被触发并可维持导通状态；否则，说明该晶闸管损坏。

2. 双向晶闸管的检测

（1）双向晶闸管电极的检测

如图 3-38 所示，选用指针万用表 R×10 档，用黑表笔固定接一电极，用红表笔分别去测另两个电极，当测得的两个阻值都是无穷大时，那么黑表笔所接电极就是 T_2。如测得的阻值不全为无穷大，则应将黑表笔换另一电极再测。判别了电极 T_2 后，用两只表笔测 T_1 和 G 两极，调换表笔再测一次，比较两次测得的结果，阻值较小的那一次，黑表笔所接电极是 T_1，红表笔所接电极是 G。有的双向晶闸管的 T_1 和 G 极调换表笔两次测的阻值仅相差几欧姆。如果 G 与 T_1 间

电阻等于零，或 T_1 与 T_2 间电阻不为∞，说明其内部已短路或击穿；如果 G 与 T_1 之间电阻为∞，则说明其内部已开路。

（2）双向晶闸管好坏的检测

将指针万用表置于 R×10 档，黑表笔接主电极 T_2，红表笔接 T_1，即给 T_2 加正向电压，再用短铜线将 G 与 T_1 短接一下后撤离，如果万用表指针偏转较大，并停留在一固定位置，说明 T_1 与 T_2 间已触发导通；把红、黑表笔调换后再重复上述操作（G 与 T2 短接一下），如果万用表指针发生较大偏转，说明双向触发性能是好的。

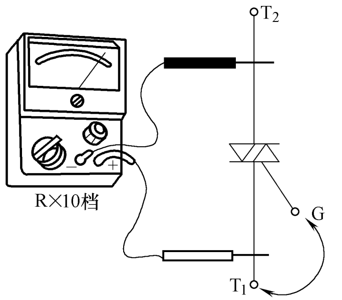


图 3-38　双向晶闸管电极的检测

3.9　霍尔组件

霍尔组件是电动自行车经常采用的控制型组件，调速转把发出速度控制指令，无刷直流电动机在运转中的换向，大多是采用霍尔组件来完成的。此外还有霍尔型数字式里程速度表等。

霍尔组件用于无刷电动机，其作用是告知控制器何时改变电动机电流的方向。

3.9.1　霍尔组件的构成

将霍尔元件、放大器、温度补偿电路等集成在一个芯片上，即成为霍尔组件。霍尔组件的外形如图 3-39 所示，其内部结构如图 3-40 所示。


图 3-39　霍尔组件外形图

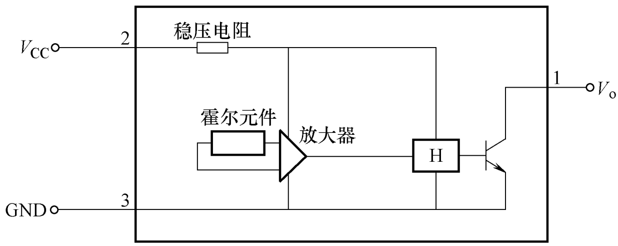


图 3-40　霍尔组件内部结构图

3.9.2　霍尔组件的分类

霍尔组件按照输出方式可分为以下两类。

1. 线性输出

线性输出方式的霍尔组件就是当由强到弱的磁场靠近霍尔组件时，其输出电压随之逐渐增大或减小。

2. 开关输出

开关输出方式的霍尔组件就是当一个磁场靠近或远离霍尔组件时，其输出电压随之改变为低电平或高电平。

3.9.3　霍尔组件的检测

1. 引脚功能的判断

（1）根据霍尔导线的颜色判断

无刷电动机与控制器相连的霍尔线有 5 根，一般黑线为接地端，红线为电源正端，其余的黄、蓝、绿线则为霍尔信号输出端（接霍尔相线）。

（2）直观判断法

将霍尔组件表面带字母的面朝上放置，中间脚为接地端，左脚为电源正端。右脚为信号输出端（接霍尔相线），如图 3-41 所示。

2. 霍尔组件的检测

一般来说，霍尔组件的故障主要有霍尔组件脱落、霍尔集成电路失效、霍尔引线断开等。如怀疑霍尔组件损坏，应按以下方法进行检测。

（1）分解电动机，直按检测霍尔组件

选用数字式万用表欧姆档，让红表笔接中间脚，如黑表笔接左脚

（电源正端）时，其电阻为无穷大（即显示“1”），则呈现断路状态；黑表笔接右脚（相线脚）时，其电阻一般为400～900Ω（因不同霍尔组件间的电阻有所不同），否则说明霍尔组件损坏。

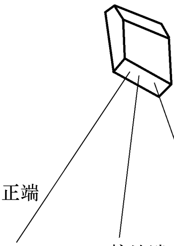


图3-41　霍尔组件的引脚排列

（2）检测霍尔相线电压

把电动机与控制器连接好，并接通电源。选用万用表10V直流电压档，让黑表笔接黑色霍尔导线，红表笔接红色霍尔电源线，即测霍尔组件的电源电压，一般为5V，但也有4.5V或6.25V的。

在霍尔导线及连接正常的情况下，进行以下测量：如霍尔电源电压为5V，将万用表黑表笔接黑线，红表笔接蓝线（或黄线、绿线），慢慢转动后轮，万用表读数按0～5V顺序变化为正常。如长期处于高电位5V，或长期处于低电位0V，则说明蓝线对应的霍尔组件损坏。其他霍尔组件的测量依此类推。

（3）不分解电动机检测霍尔引线间的电阻

将电动机与控制器相连的插接器去掉，同时把数字式万用表的档位旋钮旋至二极管档。

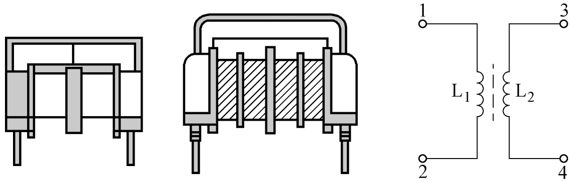
将万用表的红表笔接霍尔接地线，黑表笔分别接霍尔相线（即蓝线、绿线、黄线），3个电阻值应基本一致。然后将黑、红表笔对调，分别测量3线阻值，也应基本一致。如所测某相阻值与其他2相阻值相差很大，则说明与其相对的传感器异常。

3.10　互感滤波器

互感滤波器的作用是消除干扰杂讯，将输入或输出经过过滤而得到纯净的交流电。

3.10.1　互感滤波器的构成

互感滤波器由两个一样的线圈和磁心构成，如图3-42所示。



a)　　　　b)

图 3-42　互感滤波器

a）互感滤波器的外形　b）互感滤波器的电路符号

3.10.2　互感滤波器的检测

互感滤波器损坏后，通常会发出“吱吱”声且表面有变色现象，有时还会引起市电输入回路的熔断器过电流熔断。互感滤波器通常采用相近的更换即可。

3.11　熔　断　器

熔断器安装在供电回路最前面，当滤波电容或负载因漏电、短路等原因引起电流增大，超过熔断器标注的熔断电流值时，熔断器迅速熔断，切断供电回路，以免故障进一步扩大。

熔断器的外形和电路符号如图 3-43 所示。



a)　　　　b)

图 3-43　熔断器的外形和电路符号

a）熔断器的外形　b）熔断器的电路符号

3.11.1　熔断器的分类

常用的熔断器有普通熔断器、玻璃管熔断器、快速熔断器、延迟熔断器、温度熔断器和可恢复熔断器等。

熔断器的额定电压和额定电流一般都标在外壳上。熔断器熔断多因负载过电流引起，所以熔断器熔断后必须检查负载是否正常，更不能用导线代替熔断器，以免扩大故障。

3.11.2　熔断器的检测

熔断器的检测方法如下：

测量熔断器时可用数字万用表的 R×1 档，万用表的两只表笔不

分正负与熔断器两端金属部分相接，正常时熔断器的阻值为零。如所测阻值为无穷大，说明被测熔断器内部断路；如所测阻值忽大忽小，不稳定，则说明熔断器内部接触不良。

熔断器断路或接触不良时均不能继续使用，应更换。

3.12　集成电路

集成电路英文缩写为 IC，它是将晶体管、电阻器及电容器等元器件，按电路结构的要求制作在一块硅片上，然后封装而成的。

3.12.1　集成电路的分类

集成电路可分为数字集成电路和模拟集成电路两种。

1. 模拟集成电路

电信号连续变化的信号，称为模拟信号。模拟电路是用来处理模拟信号的，如运算放大器等。

2. 数字集成电路

电信号不连续的信号，称为数字信号。数字电路是用来处理数字信号的，由于信号的不连续性，数字电路多半是由开关电路组成的逻辑电路。

此外，还有一些集成电路内含模拟和数字电路，构成专用集成电路，如开关电源、晶闸管触发、逆变电源控制等专用集成电路。

3.12.2　集成电路的识别

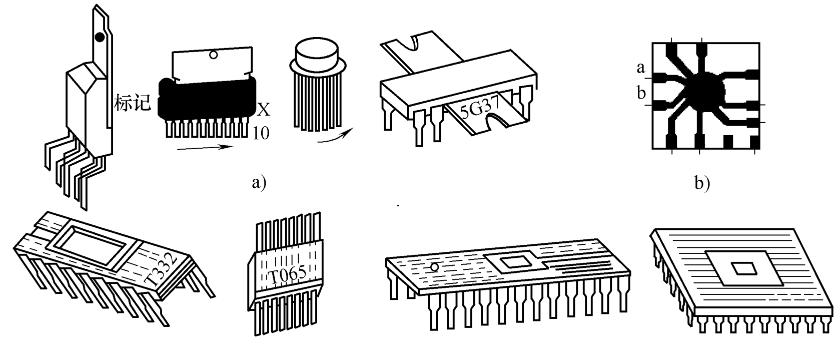
集成电路又称集成块，在电气原理图中的符号是 IC 或 U。

电动自行车上使用的集成块有三端稳压器、三端可调压器、精密稳压器、运算放大器、电压比较器、门电路、脉宽调制电路、单片机、时基电路、光耦合器、无刷电动机控制台专用芯片等。

1. 常见集成电路的外形与封装

集成电路按外形、封装不同有圆形封装、扁平封装（表面安装），双列直插和单列直插封装，软封装，以及大规模集成电路封装等多种，如图 3-44 所示。

其中，双列或单列直插多为塑料外壳，最为通用。



a)　b)　c)　d)

图 3-44　集成电路外形

a）模拟集成电路　b）专用集成电路　c）数字集成电路　d）大规模集成电路

2. 集成电路的引脚排列与识别

集成电路的引脚数量虽不同，但排列方式仍有一定规律可循。一般总是从外壳顶部看，按逆时针方向编号，如图 3-45 中箭头所示方向，第 1 脚位置都有参考标记，如圆形管座以键为参考标记，逆时针数。如是扁平形或双列直插形，无论是陶瓷封装还是塑料封装，一般均有色点或某种标记（如小圆孔或锁口、缺角等），在色点或标记的正面左方，靠近色点的脚或靠近标记的左下脚就是第 1 脚，然后按逆时针方向数下去。图 3-46 和图 3-47 为各种封装集成电路的常见引脚排列方式。

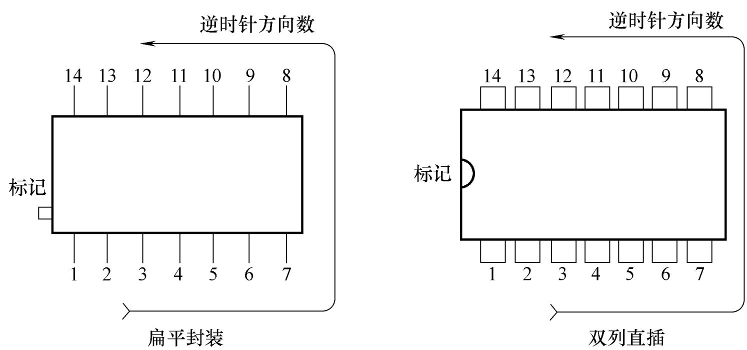


图 3-45　扁平和双列直插集成电路引脚的识别

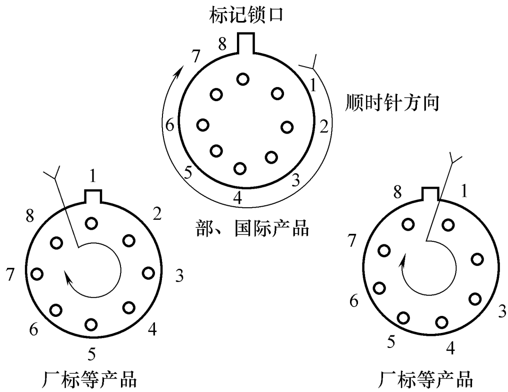


图 3-46　圆壳封装集成电路引脚的识别（底视）

3.12.3　集成电路的检测

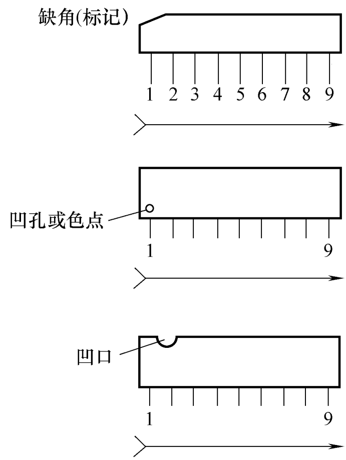


图 3-47　单列直插封装集成电路引脚的识别

检测集成电路的一般方法是用仪表测试各脚电压、各引脚对地电阻、输入和输出电压、电源功耗、输入输出波形等，并将测试结果与正常集成电路参数对照，就可以判断被测集成电路是否正常。

检测电动自行车集成电路时，主要应测量其关键测试点。

在电动自行车中，常用的集成电路有微处理器、开关电源厚膜集成电路和运算放大集成电路。下面我们来具体分析一下这几种常见集成电路的关键测试点。

1. 微处理器集成电路的关键测试点

微处理器集成电路的关键测试点主要是 V_{CC}电源端、RESET 复位端、X_{IN}晶振信号输入端、X_{OUT}晶振信号输出端及其他线路输入、输出端。

用在线检测法测量出上述关键点的对地电阻值和电压值与正常值

对照，即可判断该集成电路是否正常。

2. 开关电源集成电路的关键测试点

开关电源集成电路的关键测试点主要是 V_{CC} 电源端、电压检测输入端、电流检测输入端、激励脉冲输出端等。

用在线检测法测量集成电路各引脚的电压值和电阻值，然后与资料上的正常值进行比较，如相差较大，还应检测相关的外围组件，在确定外围组件正常的情况下，则可判断该集成电路已损坏。

在开关集成电路中开关管是核心组件，对内置大功率开关管的厚膜集成电路，当怀疑开关管不良时，可通过测量开关管 c、b、e 极之间的正、反向电阻来进行判断。

3. 运算放大器集成电路关键测试点

运算放大器集成电路的关键测试点主要是输入和输出端。此点静态时电压值较高。

测试时，将万用表拨至直流电压档，测量输出端与负电源端之间的电压值。用手握金属镊子依次点触运算放大器的两个输入端（加入干扰信号），并观察表针的摆动情况，正常时，万用表指针会有较大的摆动，如指针根本不动，则说明该运算放大器已损坏。

4. 电动自行车具体集成电路关键点测试

在电动自行车中，常用集成电路有 TL494 电路和 555 时基电路。下面我们来具体了解一下其关键点的具体测试方法。

（1）集成电路 TL494 的测定

集成电路 TL494 内部构造如图 3-48 所示。

集成电路 TL494 的测定步骤如下。

1）准备仪表。对集成电路的测试要选功能比较全面的，例如数字万用表，型号以 MY68 型和 MS8201 型数字万用表比较实用。它们能测到的频率一般为 150kHz 和 200kHz。另外需要一台示波器、可调线绕组电阻等。

2）测量振荡频率。首先将万用表旋至 200kHz 档，初测 TL494 最高振荡率（对其他集成电路如低于 200kHz，可随时调整档位），以求准确。TL494 的振荡在 5、6 脚，因此万用表表笔应接在这两个脚，测定其锯齿波。充电器和控制器电路的振荡频率为 20～80kHz，测定

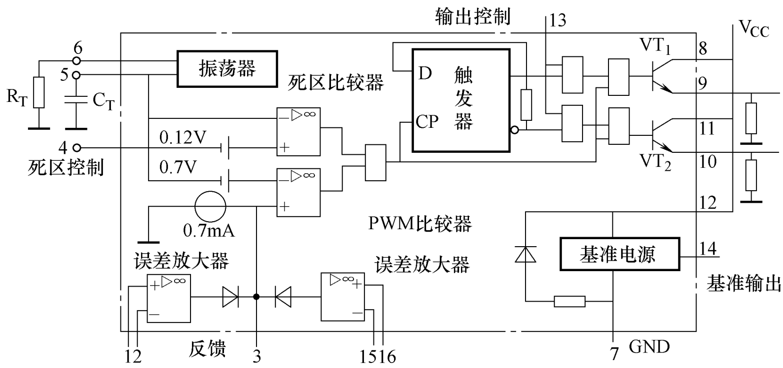


图 3-48　集成电路 TL494 内部构造

结果是其中某值，说明集成电路的振荡正常，电阻电容值正确。如果没有任何振荡迹象，应当检查接触头和表笔、接线等。若重新测试后仍测不到数值，说明集成电路有问题。

如果频率不准，说明问题在 R_T 或 C_T，可视情况适当调整或更换。

3）测量占空比。准备好示波器，将 TL494 的输出脚 9、10 接在示波器输入接口，并预先给 9、10 脚加额定负载。这里需要注意的是，没有额定负载，测出的占空比是不准确的，会偏离原设计值。观察示波器的 9、10 脚输出的波形，同时调整占空比：对控制器，调整调速手柄，由 0 旋至最大；对充电器，调整 6 脚电阻值由 0 调到最大（电容 C_T，同时调整）。这时从示波器中应当看到占空比由 0～100% 范围内均匀变化。

4）测量输出电压范围。将数字万用表选择钮旋转至直流 50V 电压档，测量 TL394 输出端在空载和负载两种条件下的输出电压，输出脚为 8、11 脚。调整负载电阻，当负载增大时，电压提高，且变化反应灵敏。

5）软启动。对有软启动功能的集成电路测定软启动时，将数字万用表拨至直流电压档，测其软启动脚的对地电压。按模拟操作开机后，从显示窗口应能观察到软启动脚电压由 0 逐渐升高，而不是突然升高，这是软启动的保护特点，是通过输出电压的缓慢建立而完

成的。

另外，还可以测定各种芯片的其他功能和数据。

（2）555 时基集成电路的关键测试点

555 时基集成电路内部的主要器件有：两个电压比较器、一个双稳态触发器、一个由三只电阻构成的触发器和一个功率输出级。

555 时基集成电路将数字电路和模拟电路巧妙地结合在一起，用万用表很难直接测出其好坏。可采用 6V 直流电源、电源锁和一个 8 脚 IC 插座，配置阻容组件和发光二极管 VL 组成一个检测电路对其进行检测。

测试时，将时基集成电路插入 IC 插座，按下电源锁，如发光二极管 VL 闪烁发光，则说明时基电路正常；如 VL 不发光或一直亮，则说明该时基集成电路有故障。

3.13 光耦合器

光耦合器由一只发光二极管和一只光敏晶体管构成。

当发光二极管流过导通电流后开始发光，光敏晶体管受光照后导通，这样通过控制发光二极管导通电流的大小，便可控制光敏晶体管的导通程度，所以它属于一种具有隔离传输和隔离控制的器件。在电动自行车中主要应用于充电器的稳压控制电路中。

光耦合器有 4 脚直插和 6 脚直插两种。

1. 4 脚直插光耦合器

其外形以及电路符号如图 3-49 所示。

2. 6 脚直插光耦合器

其外形以及电路符号如图 3-50 所示。

在充电器电路中经常用到光耦合器，光耦合器是反馈信息并能隔离它两侧电路的器件，尤其对输入侧有害噪声的，不能随信息进入输出端。

光耦合器的常见型号有 L9902、817L、PC817、PC111、TLP521、4N25、4N26、4N35、4N36 等。不同型号的光耦合器虽然性能相近，但特性仍有所差别。

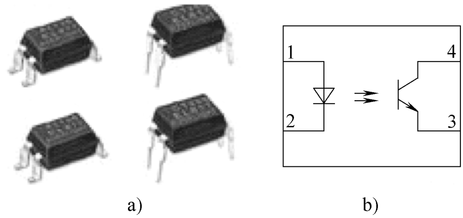


图 3-49　4 脚直插光耦合器

a）4 脚直插光耦合器的外形　b）4 脚直插光耦合器的电路符号

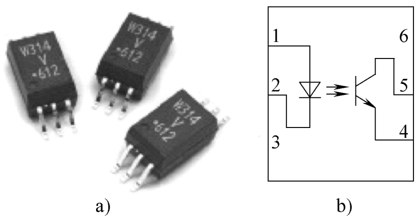


图 3-50　6 脚直插光耦合器

a）6 脚直插光耦合器的外形　b）6 脚直插光耦合器的电路符号

TLP532、TLP632 等为 6 脚线性光耦合器，4N 系列属 4 脚非线性光耦合器。4N 系列是充电器电路中常用的，它们不适合在开关电路中使用，只适合于模拟电路。但是 4 脚光耦合器可以替代 6 脚光耦合器。

当光耦合器有故障时，最好采用代换法进行检修。

3.14　单　片　机

一定容量的 RAM、ROM、I/O、定时器等电路和 CPU 集成在一块芯片上，构成单片微型计算机（简称单片机）。单片机又称单片微控制器、微控制器，其外形如图 3-51 所示。



图 3-51　单片机外形图

单片机和微处理器不同，微处理器是由运算器和控制电路构成的，单片机不是完成某一个逻辑功能的芯片，而是

把一个计算机系统集成到一个芯片上，内部具有存储器、译码器、脉宽调制功能电路、锯齿波发生器、输入输出端口，以及能够通过方波控制功率管的导通时间从而达到控制电动机转速的驱动电路等。

电动机控制和充电电路中经常用到这种单片机，有专用的，也有通用的。专用的如 UC3842、MC33035 等。电动自行车充电器有的也采用单片机。

单片机一般由软件与硬件组成。软件指的是各种程序，硬件包括运算器、控制器、存储器、特殊功能寄存器等，其中运算器和控制器合并称为中央处理单元（CPU）。单片机即要运算，还要进行控制，因此，一般还具有计数器和定时器。

对于电动自行车的单片机的检修来说，如发现单片机损坏时，只更换硬件并不能够解决问题。因此，可用同型号同车型的控制器代换，效果会要好一些。

3.15 晶　振

晶振是将石英晶体按一种特殊工艺切成薄晶片，然后在晶片的两个相对面涂上银层，夹在（或焊在）两个金属引脚之间，再用金属、陶瓷等外壳封装。其外形如图 3-52 所示。

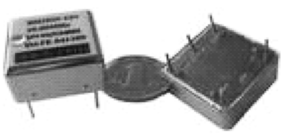


图 3-52　晶振外形图

3.15.1　晶振的功能

晶振用来和时钟电路配合产生精度较高的时钟信号，它是 CPU 和各个受控制电路进行正常通信的基础。晶振利用压电效应产生的是正弦波振荡信号，再通过整形、放大和分频后才能获得 CPU 电路工作所需用的时钟信号。

3.15.2　晶振的检测

晶振损坏后会导致 CPU 电路不工作或工作紊乱的故障。当晶振出现异常时，最好采用代换法、波形检测法进行判断。另外，由于晶振在结构上类似一只小电容器，所以也可采用电容表的电容档通过检测容量的方法进行判断。

3.16　LED 数码管

如图 3-53 所示，为电动自行车 LED 数码管的外形。

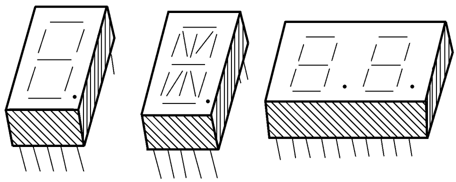


图 3-53　LED 数码管外形示意图

3.16.1　LED 数码管的识别

LED 数码管是最常用的一种字符显示器件，它是将若干发光二极管按一定图形组织在一起构成的。7 段数码管是应用较多的一种数码管，分为共阴极数码管和共阳极数码管两种。

3.16.2　LED 数码管的检测

电动自行车显示屏采用数码管显示。当显示仪表出现不能正常显示时，一般是显示电路有故障或数码管损坏，应按照先易后难的检修原则，先检测数码管。其检测方法有如下两种。

1. 直接观察法

该方法的操作情况如下：

取下数码管，观察 LED 数码管外部颜色是否均匀，有无局部变色现象；外观是否变形；引线是否折断、开焊现象等。如有异常表现，则说明该数码管已损坏。

2. 干电池检测法

即采用两节 1.5V 的干电池进行检测。

现以共阴极 LED 数码管为例，介绍其检测方法：

将 3V 干电池负极引出线固定接触在 LED 数码管的公共阴极上，另一根引出线接触到某一笔段的驱动端时，正常时应有显示，如某一笔段不能显示，则说明该 LED 数码管存在“断笔”的故障；如某一笔段连在一起发光，则说明该 LED 数码管有“连笔”故障。

对共阳极数码管的检测，只需将蓄电池正、负极引线对调即可。

第 4 章　电动自行车的电路图解

4.1　电动自行车电路图的分类

要想成功修理电动自行车，电路图的识读和分析是非常必要的。首先，我们先来了解电动自行车电路的分类，然后再想办法看懂各种形式的电路。

电动自行车电路的分类形式如下。

4.1.1　按系统单元划分

按系统单元电动自行车电路可分为以下几种。

1. 整车电路

整车电路即把整辆电动自行车的各部分电路相互连接起来，全部在一张纸上反映出来，有一种整体、全面的感觉。

2. 系统电路

系统电路即把整机电路分成几大块，如可按电动自行车的结构把整机电路分成充电电路、电动机驱动电路等，它看起来比整车电路更详细、清楚。

3. 单元电路

单元电路即把系统电路又分成更细、更小的块电路，使图样看起来更加详细明了。

4.1.2　按图样种类划分

按图样种类电动自行车电路可分为以下几种。

1. 框图

框图是一种通过方框和连线反映电路构成和信号流程的电气图。图中每个方框反映的就是一个单元电路或是一个部件，方框中的文字和字符含义就是该部分电路的名称和功能作用，而每个方框连线表明各个方框之间的关系。框图简洁清楚，一目了然。如图 4-1 为普通无

刷电动机电动自行车电气系统框图。

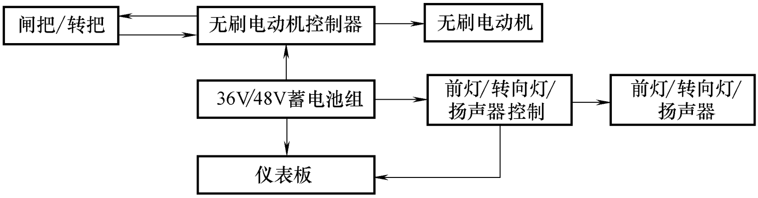


图 4-1　普通无刷电动机电动自行车电气系统框图

2. 电气原理图

电气原理图是一种详细、完整的电路，可直观地反映出电动自行车各部分的电路结构，各组成元器件的参数、作用。电气原理图不仅可帮助我们分析电动自行车电气系统的工作原理，而且为我们进行故障分析和元器件代换提供了帮助。如图 4-2 为某品牌电动自行车电气原理图。

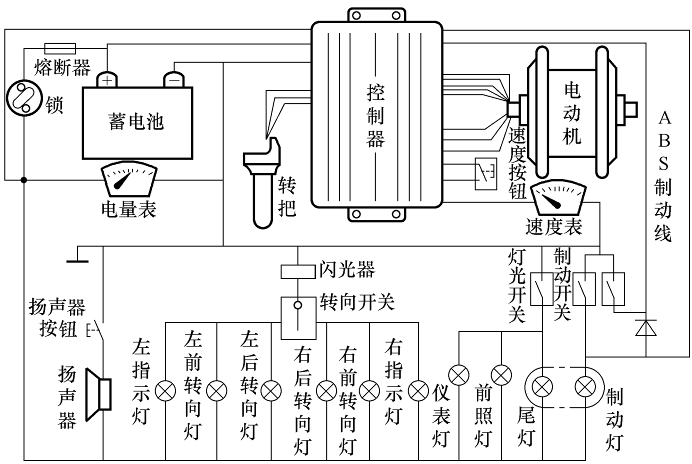


图 4-2　某品牌电动自行车电气原理图

3. 电气接线图

电气接线图反映了电动自行车电路板上各元器件的实际位置和各

元器件间的连接情况。如图 4-3 为有刷电动机电动自行车电气系统接线图。

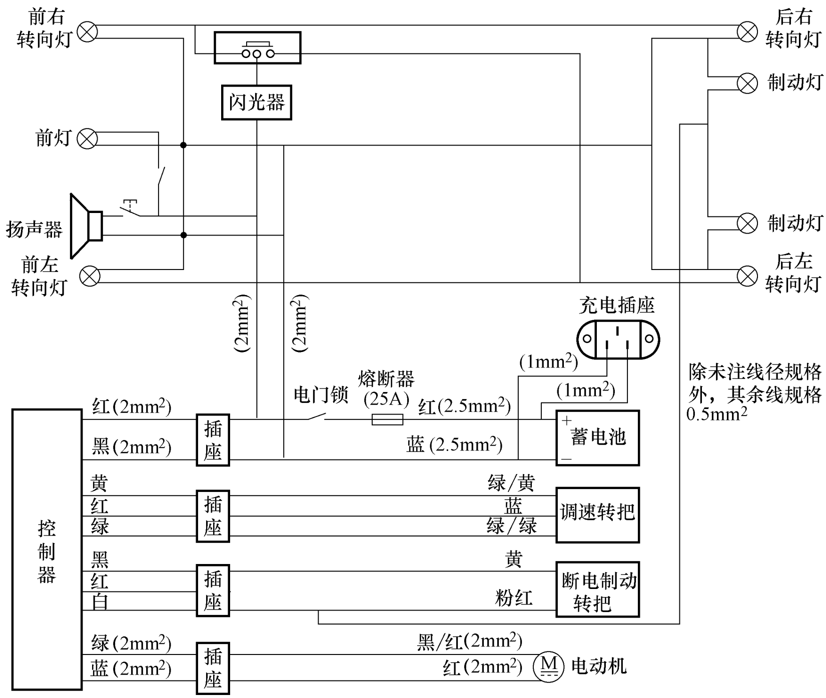


图 4-3　有刷电动机电动自行车电气系统接线图

4. 印制电路板图

印制电路板图属于 PCB 布局图。制作方法是在一块绝缘板上先覆盖一层金属箔（铜箔），将金属箔上不需要的部位腐蚀掉，剩下的金属箔作为电路元器件之间的连线，这样安装在这块绝缘板上的元器件就构成了一个完整电路。PCB 布局图是一种实际电子元器件的装配图。

5. 故障检修流程图

故障检修流程图主要用于故障检修，通过该图可对故障部位依次进行查找。如图 4-4 为电动自行车制动灯不亮的故障检修流程图。

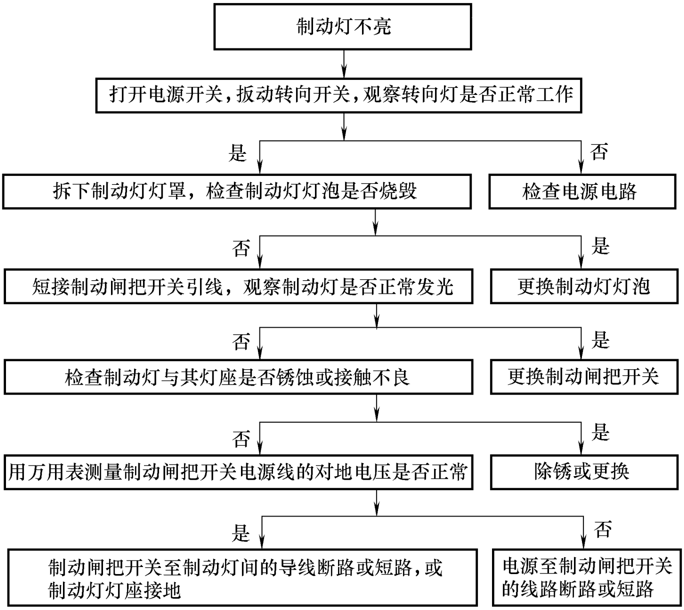


图 4-4　电动自行车制动灯不亮的故障检修流程图

4.2　电动自行车电路图形符号及文字符号

在电动自行车电气电路图中，我们会看到许许多多的电路符号，这些电路符号表示不同的元器件。下面我们对电动自行车电气电路图中的电路符号做详细的了解。

4.2.1　电动自行车电路符号的分类

电动自行车电路符号可分为以下两类。

1. 图形符号

图形符号即用规定的抽象图形代表各种元器件、组件、电流、电压、波形、导线和连接状态等的绘图符号，它是构成电动自行车电路图的主体。

2. 文字符号

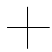
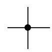
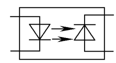
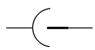
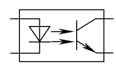
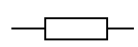
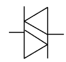
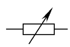
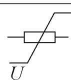
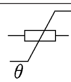
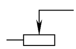
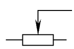
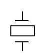
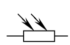
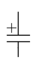
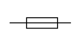
文字符号是指用规定的字符（通常为字母）表示各种元器件、

组件、设备、装置、物理量和工作状态等的绘图符号，文字符号是构成电路图的重要组成部分。

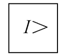
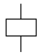
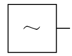
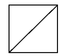
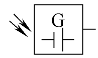
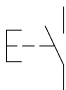
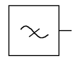
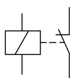
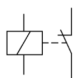
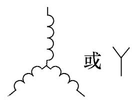
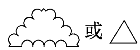
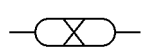
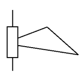
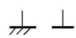
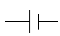
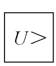
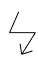
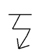
4.2.2　电气电路图形符号与名称

电动自行车电气电路图图形符号与名称见表4-1。

表4-1　电动自行车电气电路图图形符号与名称

名　称	图形符号	名　称	图形符号
导线的跨越		单向击穿二极管,电压调整二极管(稳压管)	
导线的交叉连接		发光二极管	
边界线		光敏二极管型光耦合器	
插头和插座		光耦合器、光隔离器(示出发光二极管和光电半导体管)	
电阻器		双向触发二极管	
可变电阻器		三极晶体闸流管	
压敏电阻器		光敏二极管	
热敏电阻器		PNP型晶体管	
滑线式变阻器		NPN型晶体管	
滑动触头电位器		具有两个电极的压电晶体	
光敏电阻		电感器、线圈、绕组、扼流圈	
电容器		绕组间有屏蔽的双绕组单相变压器	
极性电容器		在一个绕组上有中心点抽头的变压器	
半导体二极管一般符号		熔断器	

（续）

名　　称	图形符号	名　　称	图形符号
易熔线		过电流保护装置	
操作器件一般符号		振荡器	
动合（常开）触头		交换器、转换器	
动断（常闭）触头		光电发生器	
按钮（不闭锁）		滤波器	
触头常开的继电器		直流电动机	
触头常闭的继电器		星形联结的三相绕组	
照明、信号、仪表、指示灯		三角形联结的三相绕组	
荧光灯		正脉冲	
报警器		负脉冲	
扬声器		接地一般符号	
蜂鸣器		接机壳或接底板	
蓄电池		等电位	
过电压保护装置		交流脉冲	
		锯齿波	
		故障（用以表示假定故障位置）	
		击穿	

4.2.3 数字电路图图形符号与名称

组成电动自行车数字电路图的符号可分为以下两部分：

1）各种数字电路和外围元器件符号，包括图形符号和文字符号；

2）导线、波形、轮廓等绘图符号。

数字电路符号主要包括门电路、触发器、信号发生器、编译器等代码转换器、计数器和分配器、移位寄存器、信号转换器、模拟开关、算术单元及存储器等的图形符号及文字符号。

在集成电路内部构造框图中还会看到一些组件图形中有标记或符号，这些符号都代表某种门。

所谓的门，就是开关，当外部输入情况符号设定条件时，就有符合设定的输出；当外部输入不符合设定条件时，没有输出。

数字门电路图形符号见表4-2。

下面我们来对几组名词加以解释。

≥1：或门、或非门，输入呈现1状态的个数大于或等于1时，输出才为1状态。

=1：异或门，只有一个输入为1状态时，它的输出才为1状态。

1：非门，是反相器，只有输入为1状态时，它的输出为1状态。

&：与门，必须是两个以上的1同时输入时，输出才为1状态。

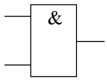
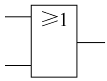
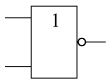
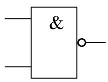
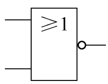
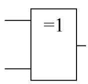
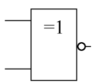
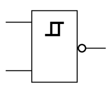
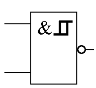
或门、与门、非门是基本逻辑门，其中非门是反相器。这些门是为逻辑运算选用的。各种不同门的组合，可得到多种逻辑运算电路。

反馈：将经过处理输出的信号再返回到输入端。

负反馈：输出结果的反面又被返回到输入端，返回的量越多，抑制性越强，越稳定。

二次导通：主要发生在场效应晶体管，在MOS管截止过程中再次导通，以致烧坏管子。

表 4-2　数字门电路图形符号

名称	图形符号	说　　明
与门		左为输入端(输入端数量可增加),右为输出端
或门		
非门、反相器		左为输入端,右为输出端
与非门		左为输入端(输入端数量可增加),右为输出端
或非门		
异或门		左为输入端,右为输出端
异或非门		
施密特触发器非门		
施密特触发器与非门		左为输入端(输入端数量可增加),右为输出端

4.3　电动自行车基础单元电路图解

在电动自行车的电路中，包括了许多的单元电路。认识这些基础单元电路，对我们以后更好地分析系统电路和整车电路有很大的帮

助。现将主要单元电路介绍如下。

4.3.1 稳压电源

电子电路中，许多部位需要稳压电源提供稳定的直流电压。稳压器是利用现有电源经过变换电压后输出需要的电压，并保持稳定的一种电路工作供电器件。

1. 稳压电源的分类

稳压电源有线性和非线性两大类。

线性稳压电源按照自动调节组件和负载的连接关系，又分串联式稳压电源和并联式稳压电源。控制器和充电器内部的稳压电源，大部分是简单的串联或并联式线性稳压电源。

2. 稳压器的分类

稳压器种类按可调与否，分为固定和可调的；按调节方式，分为多端可调、三端可调；按电源正负，分为正集成稳压器、负集成稳压器。

电动车电路多用三端正电压集成可调或固定稳压器。正输出系列如 LM117/217/317、LM138/238/338、W7800 系列；负输出系列如 LM137/237/337、W7900 系列等。

3. 集成稳压电路

集成稳压电路就是将串联型稳压电路中的调整管、稳压管和采样放大管等主要部分制作在一块芯片上。目前市场上使用较多的三端式的集成稳压器有 3 个端口。LM78 × × 三端稳压集成块就是正电压型三端稳压器的器件，而 LM117、LM337 集成块是输出电压可调的三端稳压器件。

型号中的“78”代表正电压型，后面“ × × ”表示输出稳定电压为 × ×V。外接二极管是保护三端稳压器的，根据其功能常称为防倒灌二极管。78 × × 系列三端稳压器内部有过电流保护和温度保护电路。

4.3.2 运算放大器

运算放大器是一个标准化电路，可用各种最简单的方法与外界电路连接。其用途是作比例运算、信号比较器、乘法器和除法器等。运算放大器一般集合 10 个以上晶体管，在电路给定的电压范围内，放

大倍数可达到千万倍，甚至接近电路电源。

1. 运算放大器的构造

运算放大器的构造类型有：单独输入-单独输出、差分输入-差分输出、差分输入-单独输出。最常用的是后者。

运算放大器基本上由高输入阻抗、高增益电压放大器和低阻抗输出放大器组成。其工作特点是，有很高的输入阻抗、很高的开环增益和很低的输出阻抗。整个系统的特征只决定于负反馈电路。

2. 运算放大器的分类及型号

（1）运算放大器的分类

运算放大器分通用型、高阻抗型、高精度型、高速率型、低功耗型、宽带型、电流型、大功率等 13 种。通用型又分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 3 种，其中Ⅰ型为低增益，Ⅱ型为中增益，Ⅲ型为高增益。

运算放大器按结构可分为双极型、结型场效应晶体管输入型、MOS 型运算放大器、CMOS 型运算放大器等 4 种。它们又分为单运放、双运放、三运放、四运放等 4 种，多个运放是由单运放组成。

（2）运算放大器的型号

运算放大器有很多型号，如 LM 系列、LF 系列、MC 系列、CA 系列等，都能与国产 F、CF 系列型号相对应。控制器和充电器电路中常用的运算放大器有两运算 LM358、四运算 LM324 等。

运算放大器加负反馈后，从同相端输入，就是同相运算放大。也可以同时从同相端和反相端输入，叫代数和运算放大。

3. 运算放大器的工作原理

集成运算放大器内部由许多直接耦合的放大器组成，电压放大倍数很大。集成运算放大器在电路图中的符号图如图 4-5 所示。

在图 4-5 中，1、2 端是信号输入端，5 是输出端，3、4 是工作电压端。在输入端中标有“+”号的是同相端，标有“-”号的是反相端。当信号从同相端输入时，输出信号和输入信号同相位；信号从反相端输入时，输出信号和输入信号反相位。

集成运算放大器必须有电源供应才可以工作，图 4-5 中 3、4 脚供电端，工作电压有双电源和单电源之分。集成运算放大器手册里，双电源供电的 V_{DD}表示电源正，V_{SS}（或 $V-$）表示电源负，GND 是

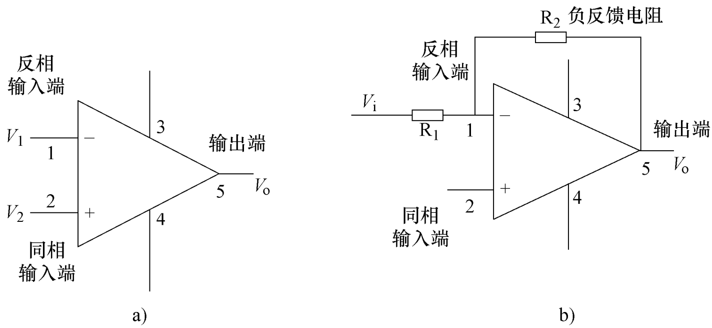


图 4-5　运算放大器

a）理想放大器　b）反相运算器

公共地，也是正负电源的公共端；单电源供电的 V_{DD}（或 $V+$）表示电源正，地是 GND，也是电源负极。

目前，大部分控制器和充电器使用的集成电路由单电源供电，一端接地，一端电源正。

4. 运算放大器的调试

运算放大器是电动自行车上经常用到的元器件，尤其是控制器，有时运算放大器集成在专用芯片内，无法调试也用不着调试。我们下面来了解一下分立使用时运算放大器的调试方法。

（1）动态测量与调试

测量方法是用信号源、电路负载和示波器，从其输入端输入信号时，电路中各阶段应有相应输出的信号，示波器上呈现相应的波形。

（2）静态测量与调试

测量方法是调整运算放大器中的电位器 RP。如电路中无电位器，则应按图外接一个 RP 进行调整，使输出为 0。在检测中要求，运算放大器输入为 0 时，输出也必须为 0。但由于电路中元器件配置不对称，很难是输出 0，这是因为存在失调电压和失调电流，遇到这种情况应当设法解决。

4.3.3　电压比较器

电压比较器是一种用参考电压比较输入电压，对差分输入端上的两个电压进行比较，然后确定输出状态，用数字信号输出比较结果的

集成电路，是一种典型的模拟-数字混合系统接口电路。也可以说是相对于基准电压具有比较输入信号大小功能的电路，并能作为模拟电路和数字电路之间的接口电路使用，将输入的模拟信号电平判断结果用数字电平输出。

1. 电压比较器的用途及常用型号

电压比较器常用于脉宽调制、蓄电池电量显示电路和多阶段充电器各阶段转换以及各种保持电路，例如控制器的蓄电池欠电压保护电路和过电流保护电路。

电动自行车电子电路中常用的电压比较器有 LM324、LM339、LM358、LM393、LM2904 和 TL08 等。

2. 电压比较器的构造

一般电压比较器和运算放大器器件内部构造有所不同，但是在电路图中的符号是一样的，并且加上反馈也可以作同相运算放大、反相运算放大和代数运算放大；运算放大器开环也可以替代电压比较器。但是，具体情况要具体分析，例如 LM339 和 LM393 的输出，内部电路是 NPN 集成电极开路型，如两个输出可以直接并联，需设置上拉电阻等。而 LM324 运算放大器开环作比较器，两个输出不能直接并联，也不需要上拉电阻。

4.3.4　继电器驱动控制电路

继电器的构造是一个电磁铁控制着一个（或多组）触头。继电器是由电磁铁吸合线圈得电，产生磁力使触点动作（常开触头闭合导通，常闭触点断开）。

继电器驱动控制电路符号及电路如图 4-6 所示。

图 4-6 中，常开触点也叫动合触点，常闭触点也叫动断（路）触头。晶体管 VT 是驱动管；吸合线圈和触点代号都是 K，可以不画在一起，符号一致的说明是同一个继电器。

晶体管基极加上正驱动电流后，晶体管导通，吸合线圈得电，触头 K 动作。晶体管截止时，触头复位，吸合线圈 K 自身电感将产生非常高的自感电动势。

由于续流二极管的存在，晶体管截止时，吸合线圈自感电动势上负下正，感生电流从下出发流经 VD 回到 $V+$ 形成闭合回路，消耗了

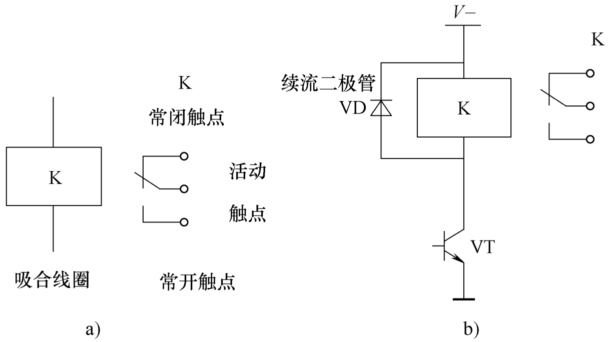


图 4-6　继电器驱动控制电路符号及电路

a）继电器驱动控制电路符号　b）继电器驱动控制电路图

吸合线圈 K 的储能，保护了晶体管。

4.3.5　续流电路

当断开电路时，续流二极管为感应电流提供通路，使它慢慢衰减，以降低感生电压。

电动机和继电器的线圈都是电感，都要加装续流二极管 VD。在给线圈正常通电时，VD 反偏截止。在开关管 VT 关断时，电感产生的自感反电势和外加电压方向相反使 VD 正偏导通，给感生电流提供通路，从而对开关管起到保护作用。图 4-7a 所示是继电器的续流电路，这个续流二极管用一般二极管即可。图 4-7b 所示是电动机的续流电路，这个续流二极管需要高速大电流（几十安）二极管。

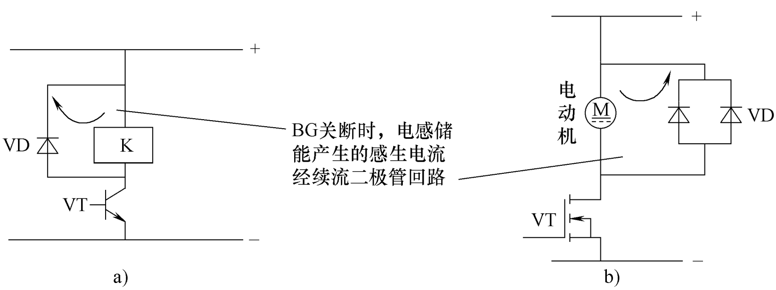


图 4-7　续流二极管电路

a）继电器续流二极管电路　b）电动机续流二极管电路

4.3.6　电压采样及电流采样

1. 电压采样

充电器为了防止过充电采用电压负反馈，需要对电压采样。控制器为了防止蓄电池过放电，也需要对电压采样。

一般用两只电阻串联后接到被采样的直流电压 $V+$ 上，串联电阻接合部输出电压采样信号 VB，接电源正极 $V+$ 的叫上采样电阻，接电源负极 V_- 的叫下取样电阻。改变充电器输出电压，因为是负反馈，一般减小 $R_{上}$，降低输出电压；增大 $R_{上}$，升高输出电压；改变 $R_{下}$ 也可以，但应注意功能相反，如图4-8所示。

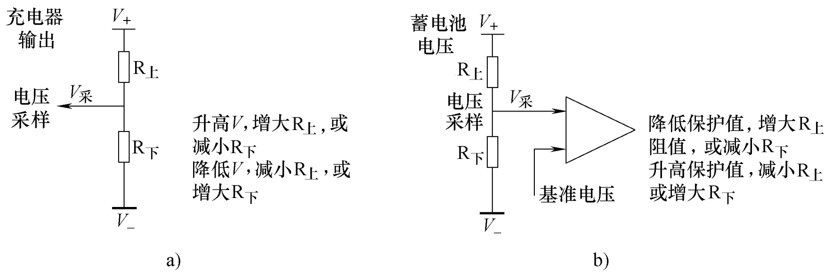


图 4-8　电压采样及调整示意图

a）充电器输出电压调整　b）控制器电池欠电压保护起控点调整

2. 电流采样

控制器和充电器都需要对直流电流采样，作用是：过电流时取出过电流信号到控制电路关断功率管，送负反馈电路，和预设值模拟减作为 PWM 的输入。

性能可靠、信噪比高的直流电流采样一般为霍尔组件，也叫直流电流传感器。为降低造价，利用电阻两端电压反映电流大小这一点，用一只电阻和负载串联，这只电阻叫电流采样电阻。

一般选用小阻值的采样电阻进行电流采样。为了减少电能损失，3A 以下充电器可用 0.1Ω 左右的线绕电阻或大模数金属膜电阻。

控制器电流大，为减少电能浪费和发热造成的故障，应取 0.01Ω 或更小的采样电阻。一般采用康铜丝、镍铜丝制作采样电阻，也有利用印制电路板的铜箔当作采样电阻的。

4.3.7　显示电路

控制器显示的内容有电源、电量、过电流、欠电流、欠电压、速度等；充电器显示的内容有电源、充电、充满、涓流充电等。

电动自行车中显示器件有发光二极管（LED）和液晶（LCD）显示屏，LCD 驱动比较复杂，需要配用专用驱动电路或单片机驱动电路。在电动自行车显示中极少采用 LCD 显示屏。

发光二极管示意图如图 4-9 所示。

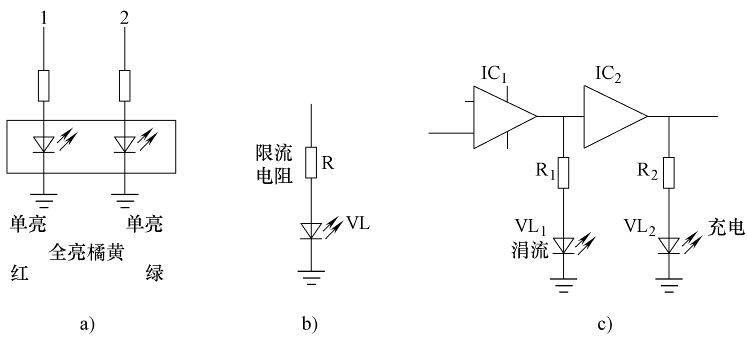


图 4-9　发光二极管示意图

a）共阴极双发光二极管　b）单发光二极管　c）充电状态显示发光二极管

充电器有时采用双管芯的 LED，可以发 3 种颜色光，例如红绿双管芯的单独一个发光就是红或绿，同时发光就是橘黄，如图 4-9a 所示。如红光代表正常充电，绿光代表涓流充电，黄光代表充足或者没接上蓄电池。大部分充电器发光指示如图 4-9c 所示，红光代表正常充电，绿光代表涓流充电，两者只亮一个。

单红色 LED 发光电路如图 4-9b 所示，常用于电源指示。伴随 LED 使用要有限流措施，图中 R 就是限流电阻，R≈(被指示电压 - 2V)/10mA，单位是千欧（kΩ）。

4.3.8　施密特电路

施密特触发器电路如图 4-10 所示。

施密特电压比较器也叫回滞触发器，无论输出 V 为何电平，R_3 都起反馈作用。有时只让输出 V_o 为一种电平时，R_3 正反馈起作用，就给 R_3 再串联一只二极管，属于变形施密特电路。

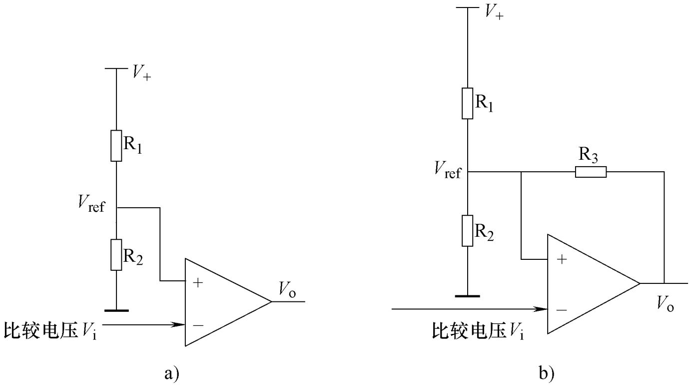


图 4-10　施密特触发器电路

a）典型电压比较器　b）施密特触发器

4.3.9　反馈电路

反馈就是从输出端取一部分或全部反馈回输入端。

反馈分为正反馈和负反馈两种。

正反馈增强输入信号，可以组成施密特电路，形成半桥式充电器功率转换的自激振荡，产生启动电压，如图 4-11 所示，也可以组成扬声器音频振荡器。

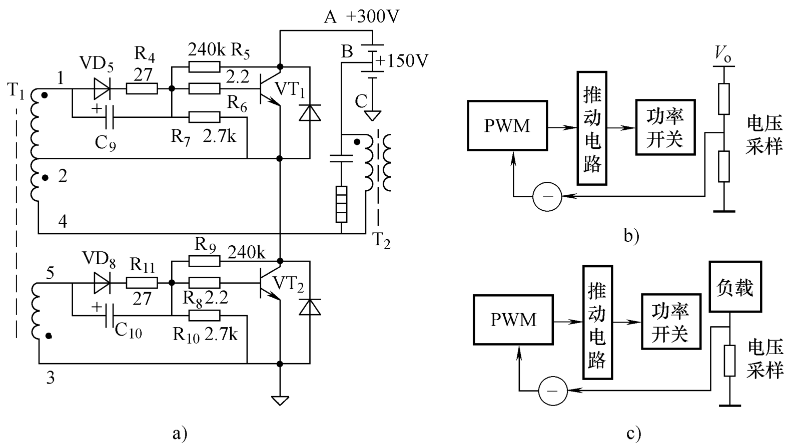


图 4-11　反馈应用电路

a）半桥式充电器功率转换部分　b）电压负反馈稳定电压　c）电流负反馈稳定电流

负反馈削弱输入信号，可以稳定工作点、稳定电压、稳定电流、稳定放大倍数。

负反馈从反馈取出点提取的是电压也可以是电流，反馈到电路输入端可以是串联也可以是并联形式，由此组合为电压串联负反馈、电流串联负反馈、电压并联负反馈、电流并联负反馈 4 种方式。

电压负反馈稳定的是电压，电流负反馈稳定的是电流。在控制器电路中，只要求弄清电流直流负反馈工作过程和通路，在充电器电路中还要弄清电压直流负反馈工作过程和通路。

4.3.10 脉宽调制

脉宽调制简称 PWM，是英文 Pulse Width Modulation 的缩写。它由电压比较器构成，但它的两个输入信号：一个是固定的基准，但不是恒定直流电位，而是等幅三角波电压；另一个是可变的比较电压。

脉宽调制输出频率和三角波相同，但占空比是随比较电压变化的连续矩形波脉冲。

1. PWM 的工作原理

PWM 的工作原理示意图如图 4-12 所示。

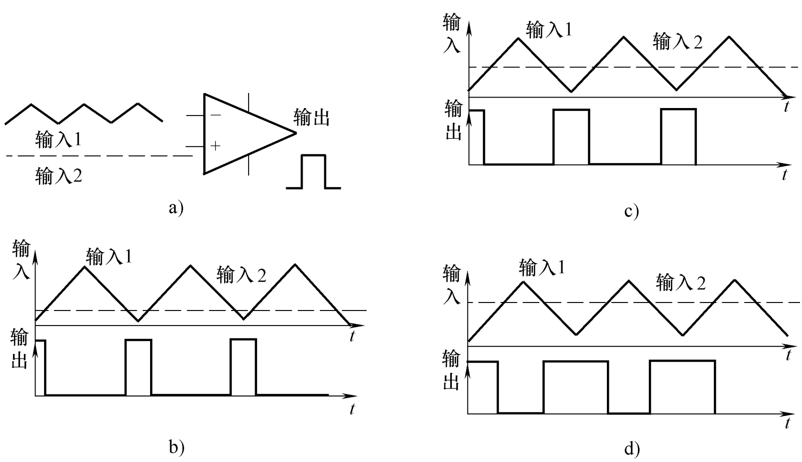


图 4-12 PWM 工作原理示意图

a）PWM 脉宽调制器 b）输入 2 电位低时 PWM 输出的脉冲

c）输入 2 电位低中时 PWM 输出的脉冲 d）输入 2 电位高时 PWM 输出的脉冲

2. PWM 的应用

电动自行车充电器和速度控制器都应用 PWM。

（1）应用于速度控制器中

速度转把的速度信号是一个随速度转把位置（相当于摩托车油门）变化的浮动直流电压，就是图 4-12 中输入浮动电压，转把速度电压越高，对应输出脉冲越宽，电动机转速就高。

（2）应用于充电器中

其作用与有刷控制器的 PWM 类似。主要不同在于，输入浮动的直流电压是预设电压和来自负反馈通道的电压相减值，它是一个随充电电压和充电电流变化的直流信号电压。用它决定 PWM 输出的脉冲波的占空比，去操作功率转换开关管的导通比，实现恒压或恒流充电和充电过电压（过充电）保护等。

4.3.11　三角波形成电路

PWM 所需幅度固定的三角波产生方法如下：

1）专用芯片外接一个电阻器和一个电容器，这只电阻叫定时电阻 R_t，电容器叫定时电容 C_t（也称振荡电容）；

2）用方波发生器对 R、C 进行充放电，在电容两端产生三角波；

3）从振荡器的电容两端提取三角波。

施密特振荡器的电路如图 4-13 所示。它是方波发生器的一种，属于自激多谐振荡器中的一种特殊振荡器类型，也被称为自激多谐振荡器。其电路有两条反馈回路。一条从输出端通过二极管 VD 返回到运算放大器的反相端，该路还包含一个充电电阻 R_1 和一个由反相输入端连接到地的电容器 C。另一路是从输出端通过正反馈电阻 R_4 返回到运算放大器的同相端，它还包含 R_2 和 R_3。

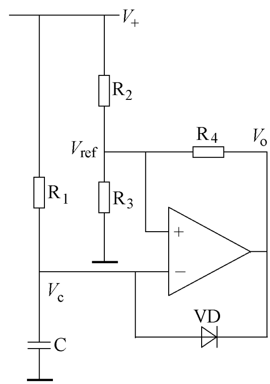


图 4-13　施密特振荡器电路图

4.3.12　电源滤波电路

充电器中，市电整流电路之后输出的脉动直流电，需要电源滤波电路使其变得比较平滑才可以使用。

电路中有的直流供电部分也必须加装电源滤波器，电路才能正常工作。

电源滤波电路如图 4-14 所示。

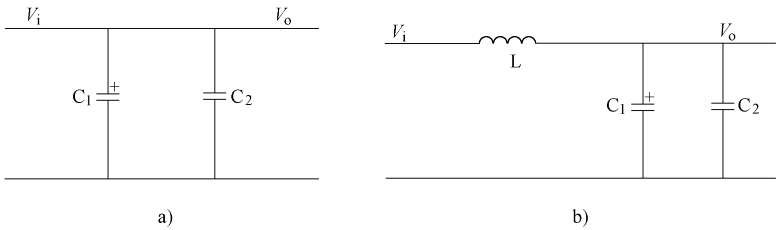


图 4-14　常用的电源滤波电路

a）电容滤波　b）LC 滤波

电容滤波是使用最多的电源滤波电路。LC 滤波由电容和电感组合，LC 滤波适合大电流场合，滤波效果比单纯使用电容滤波好。

4.3.13　二极管“或”电路

通过前文我们已知道，门电路有非门、与门、或门、与非门、或非门、异或门、异或非门，它们反映输入和输出的逻辑关系。

要实现以上逻辑，除使用集成门电路外，还可用分立组件的方法。有刷控制器中普遍使用二极管组成的“或”电路。

电动自行车的有刷控制器具有蓄电池欠电压保护、电机过电流保护、制动断电保护等。其中任何一项满足条件，保护电路都应该动作。这三项对保护电路而言，在逻辑上就是“或”的关系。二极管“或”电路如图 4-15 所示。

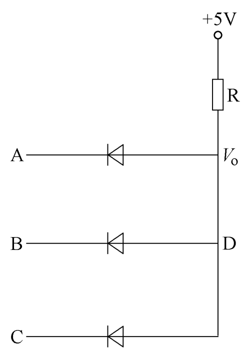


图 4-15　二极管“或”电路

A、B、C—输入　D—输出

R—门电阻

4.4　电动自行车整车电路图解

本节，我们来对电动自行车整车电路及系统划分做整体概观的认知。

4.4.1　整车电路的构成

为了更有针对性地分析电动自行车整车电路，这里将整车电路大致归类为两大系统。

1. 电气系统

电动自行车电气系统由电源、控制器、状态显示、声光信号、操纵系统、传输线路等构成，有的还配置了助力装置和霍尔式里程速度表系统，在系统图中都能显示。

电动自行车除电源、控制器及传输线路外，调速、制动断电、电量和速度显示一般必不可少，电量显示需要 36V 电源，速度显示需要 1～4V 电源，仪表工作需要 12～15V 电源，必须由蓄电池与控制器直接提供。左右转向灯的闪烁，是靠闪光器实现的，电气系统中都没有显示。有的转向灯用强光闪烁发光二极管，这比用闪光器成本低，故障率也低。

不同厂家生产的电动自行车电气系统的构成有所差别，但基本原理是相同的。无刷电动机整车电气系统如图 4-16 所示，有刷电动机整车电气系统如图 4-17 所示。

2. 仪表显示系统

电动自行车的仪表种类繁多，有简易的、豪华的，有与控制器组成一体的，有与控制器分离的。

仪表的分类前面我们已作了解，这里我们主要了解一下仪表盘。

仪表盘是电动自行车工作状态指示部件，主要包括电源指示、蓄电池容量显示、欠电压指示、速度显示等多种指示功能。比较高档的电动自行车仪表还包括里程显示、转向和大灯点亮指示、过电流指示、温度显示、电动自行车工作模式显示等。

4.4.2　整车电路的分析

不同品牌、不同型号的电动自行车，其外观千变万化，但其控制

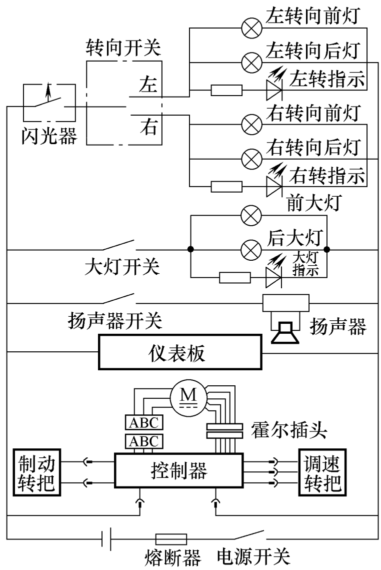


图 4-16　无刷电动机整车电气系统

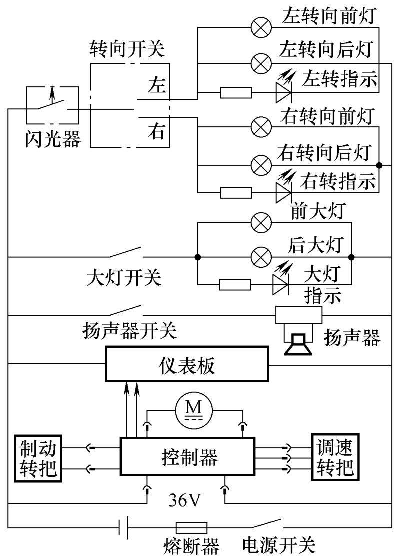


图 4-17　有刷电动机整车电气系统

和驱动电路大致相同。

1. 电动自行车控制和驱动电路概述

电动自行车以蓄电池为动力源，以电动机为动力，并配用专用控制器、驱动机构和电路。

打开电动自行车的电源锁后，蓄电池向控制器供电，骑行者通过调速手柄的操作，使电动机通电运转，驱动车轮转动，电动自行车按照操作者所需方向和速度行驶。当行驶中需要制动时，可操作制动断电闸把，借助断电开关来实现停车前切断电源。

2. 普通无刷电动机控制器自行车电路分析

采用无刷电动机控制器的整车接线图如图 4-18 所示。

工作时：

1）220V 交流电经过充电器给 36V 蓄电池充电。

2）在使用电动自行车时，36V 蓄电池经过 20A 熔断器、电源锁，给整车供电。

3）打开电源锁，整车带电。蓄电池给仪表供电，显示蓄电池剩

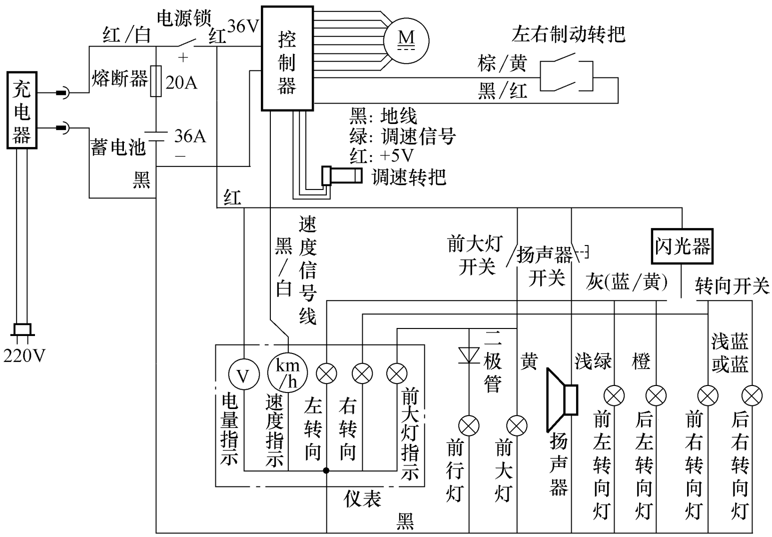


图 4-18　采用无刷电动机控制器的整车接线图

余电量，同时也显示骑行的速度。

4）当打开前大灯开关时，前大灯和夜行灯亮，且仪表中的前大灯指示灯也亮。

5）当打开左侧转向灯时，前左转向灯、后左转向灯和仪表中的左转向灯点亮。当右侧转向开关打开时，前右转向灯、后右转向灯和仪表中的右转向灯点亮。

6）36V 蓄电池给控制器供电，调整调速转把时，将调速电压送给控制器，来改变无刷电动机的电压，也就是来改变无刷电动机的速度。

7）当制动时，左闸把或右闸把把信号送给控制器，控制器控制电动机停转。

3. 普通有刷电动机控制器自行车电路分析

采用有刷电动机控制器的整车接线图如图 4-19 所示。

工作时：

1）蓄电池电压经过 20A 熔丝、接插件、电源锁给整车供电。

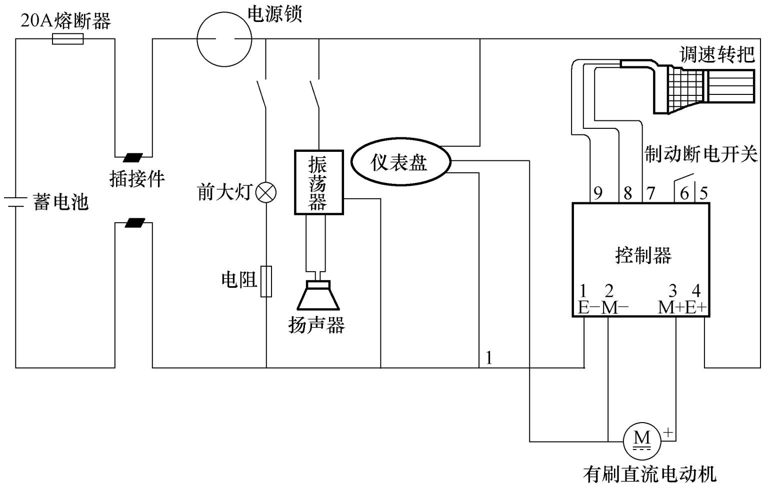


图 4-19　采用有刷电动机控制器的整车接线图

2）当打开电源锁后，蓄电池就给整车供电。蓄电池给仪表、扬声器、前大灯、有刷控制器供电。

3）当打开前大灯开关，蓄电池经限流电阻加到前大灯上，使前大灯点亮。

4）当打开扬声器开关时，蓄电池电压经振荡器加到扬声器上，使扬声器发声。

5）蓄电池电压加到控制器的 4、1 端，控制器通过调速转把 7、8、9 端加到控制器上，从 3、2 端输出变化的调速电压，可以改变有刷直流电机的转速。

6）当制动时，制动开关 5、6 闭合，给控制器传输制动信号，使电动机停转。

4.5　电动自行车控制器电路图解

我们知道，控制器作为电动自行车的“四大件”之一，其重要性不言而喻。控制器由不同功能的元器件组成。那么，其电路分布状况又是怎样的呢？

4.5.1　控制器的构成

我们这里所讲的控制器的组成，实质上是化而大之的电动机控制系统。

电动机控制系统主要由稳压器与保护电路、锯齿波发生器、PWM 调制器、驱动电路、功率放大电路、制动控制电路、调速控制电路等组成，如图 4-20 所示。

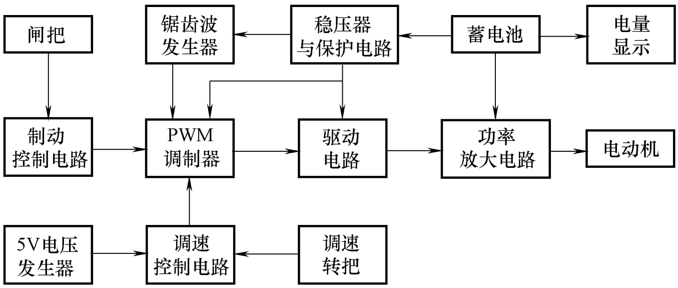


图 4-20　电动机控制系统构成框图

1. 稳压器

稳压器主要由分离组件或集成电路构成，作用是把来自蓄电池盒的 24V、36V、48V 电压变换为 5～18V 的直流电压，为控制系统低压电路供电。部分控制器采用了 DC-DC 功率变换器，将 24V、36V、48V 电压变换为 12～18V 直流电压。

2. 锯齿波发生器

锯齿波发生器多由集成电路内部的多谐振荡器和外接的 RC 定时元件通过振荡形成锯齿波脉冲（有的书中将该脉冲称为三角波脉冲）。

3. PWM 调制器

PWM（脉冲宽度调制）调制器以 PWM 控制型芯片内的 RS 触发器或运算放大器为核心构成。该触发器利用锯齿波脉冲发生器输出的锯齿波脉冲作为触发器信号，再与其他控制信号比较后，产生占空比可调的矩形脉冲信号，即调宽脉冲。

4. 功率放大器

功率放大器多采用大功率型场效应晶体管或复合管对来自驱动电路的矩形脉冲进行放大，以便驱动电动机旋转。目前，电动自行车无

刷电动机控制器都采用了6只大功率型场效应晶体管或IGBT管，而有刷电动机控制器采用的大功率场效应晶体管、IGBT与输出功率大小有关，最少的是一只，最多的是5只并联使用，一般采用的是2只。

5. 驱动电路

驱动电路有的采用分立组件构成，有的采用集成电路构成，其作用是将来自PWM调制器的调宽脉冲进行放大。有刷电动机控制器仅设置了一套驱动电路，而无刷电动机控制器的驱动电路设置了3套构成完全相同的驱动电路。

6. 调速电路

调速电路就是对来自转把的调速信号进行放大后，为PWM调制器提供比较信号。通过改变调宽脉冲的占空比，实现对功率放大管导通时间的控制，进而实现对电动机转速的控制。功率放大管导通时间越长，为电动机提供的电流越大，电动机转速越快。

电动自行车的调速转把安装在右手位置，转动转把可控制车速。调速转把有光电调速转把和霍尔调速转把两种，目前大多数电动自行车都采用霍尔调速转把。调速转把一般引线有3根，电源线（+5V红线）、调速转把信号线（绿线）和接地线（黄线）。

电动自行车常见霍尔调速转把的内部电路如图4-21所示。

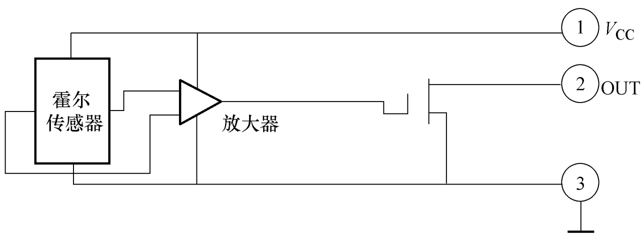


图4-21　霍尔调速转把的内部电路图

7. 制动电路

制动电路由闸把和放大器等构成，它是用来切断电动机旋转的驱动信号。

进行制动时，闸把内的机械开关或开关型霍尔组件动作，输出低电平或高电平控制信号给控制器。PWM调制器接收控制信号后，使

PWM 电路不再输出调宽脉冲，信号放大电路不能为电动机提供驱动电压，电动机停止转动，随后闸把通过钢索使抱闸抱紧完成制动。

电动自行车闸把的传感器有机械式和霍尔感应式两种。

机械式传感器有 2 根引线，霍尔感应式传感器有 3 根引线，即信号线（黄）、电源线（红）、接地线（黑）。握闸把时，有常低电压和常高电压之分，市场上常低电压的采用不多，常高电压广为运用。

电动自行车闸把的位置传感组件有机械微动开关和开关型霍尔感应组件两种。其中，机械式微动开关又分为机械常开（见图 4-22）和机械常闭（见图 4-23）两种电路；开关型霍尔感应组件又分为制动低电平（见图 4-24）和制动高电平（见图 4-25）两种电路。

8. 保护电路

保护电路的作用是保证控制器或骑行者安全。大部分控制器都设

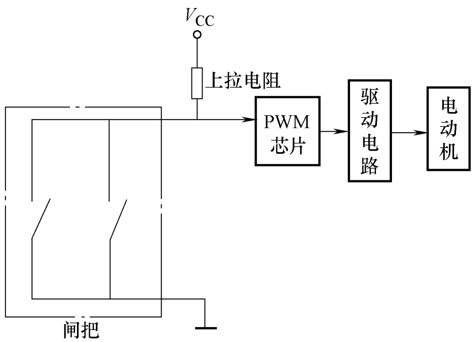


图 4-22　机械常开闸把制动电路图

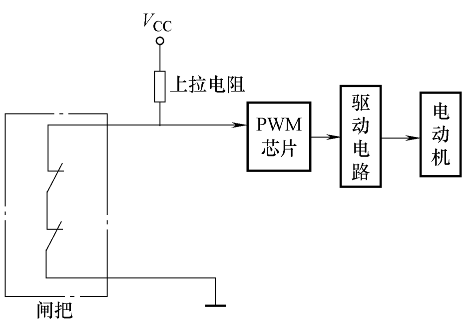


图 4-23　机械常闭闸把制动电路图

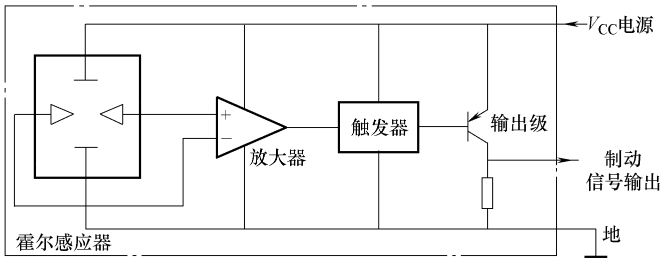


图 4-24　制动低电平电路图

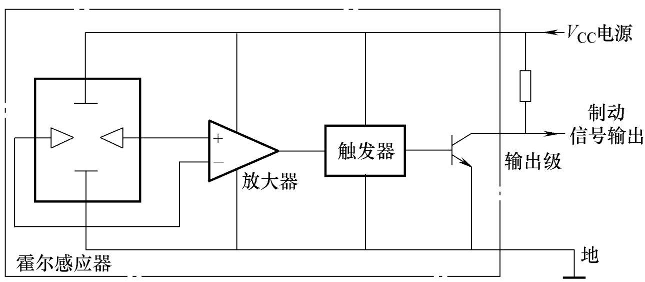


图 4-25　制动高电平电路图

置了供电电压（蓄电池电压）不足保护（欠电压保护）、场效应晶体管过电流保护电路，部分控制器还设置了防止“飞车”的保护电路和过热保护、电动机断相保护、电动机堵转保护等电路。

4.5.2　控制器的工作原理

1. 有刷控制器的工作原理

有刷电动机是靠换向器（也叫整流子）来保证转子（旋转部分）和固定部分的磁场保持连续朝一个方向的吸引力或排斥力的。这套转向机构最重要的机件就是电刷，控制器无需改变电流方向，这种控制器叫做有刷控制器。

图 4-26 所示为常用有刷控制器的工作原理框图。

有刷控制器从蓄电池电源输入到对电动机的供电，整个控制过程各部分电路的作用及工作原理如下：

1）蓄电池电压经稳压后为控制器提供工作电压。

2）欠电压保护电路用来对蓄电池电压过低时起保护作用，当蓄电池电压降低到控制器设定值以下时，PWM 芯片停止输出 PWM 信

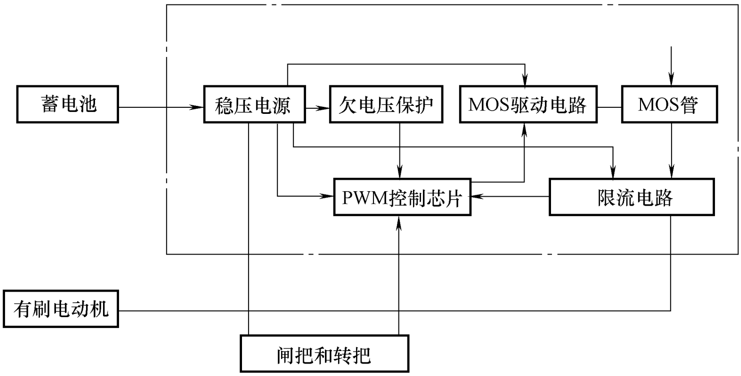


图 4-26　常用有刷控制器的工作原理框图

号，以保护蓄电池不至于在低电压时持续放电。

3）限流电路用来对控制器输出的最大电流进行限制，以保护蓄电池、控制器和电动机等不会出现超过允许范围的电流。

2. 无刷控制器的工作原理

无刷直流电动机本身没有换向器，靠控制器来改变电动机线圈内部的电流方向，同样保证转子和固定部分的磁场，保持朝一个方向的吸引力或排斥力。这种控制器叫无刷控制器。

无刷控制器一般靠霍尔传感器确定转子磁场的位置，在恰当时机给相应线圈改换电流的方向。位置传感器除霍尔传感器外，还有光电传感器等。采用霍尔传感器的无刷电动机和无刷控制器之间一般有 8 条导线连接：三根粗线是线圈引线，5 根细线中，一根为 5V 电源，一根为公共地，三根为转子位置信号线。

常用无刷控制器工作原理框图如图 4-27 所示。

无刷控制器从蓄电池电源输入到对电动机的供电，整个控制过程各部分电路的作用及工作原理如下：

1）蓄电池输出的电压经稳压后为控制器内电子组件提供工作电压。

2）微处理器芯片根据无刷电动机的霍尔信号对 MOS 管驱动电路给出有选择性的打开与关闭信号，以完成对电动机的换向。同时，根

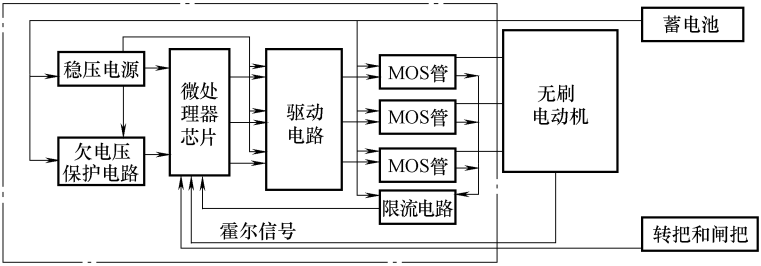


图 4-27　常用无刷控制器工作原理框图

据调速转把的输入电压大小将相应的脉冲宽度载波信号与 MOS 管导通信号混合，以实施对电动机的速度进行控制。

3）MOS 管驱动电路将 PWM 信号整形放大，提供给 MOS 管。由于 MOS 管驱动电路具有升压功能，可以将 MOS 管导通信号变成高于蓄电池电压的超高方波信号，以满足 MOS 管驱动电压高于蓄电池电压的需要。MOS 管是大电流的开关组件，其导通时间与关闭时间，受导通信号与 PWM 信号合成的混合信号的控制。

4）欠电压保护电路的作用是对蓄电池进行保护，当蓄电池电压降到控制器设定值以下时，PWM 芯片停止 PWM 信号输出，以保护蓄电池不至于在低电压的情况下继续放电。

5）限流电路是对控制器输出的最大电流进行限制，使蓄电池、控制器和电动机始终工作在允许的电压范围内，不至于因过电流而造成损坏。

4.5.3　控制器的连接

电动自行车控制器分别要与电源（蓄电池组）、电动机、调速转把、断电闸把等连接，接受来自各方的控制信号，根据这些信号向电动机输出合理的电压和电流。

在前文“直流电动机的连接”一部分，我们已经了解了控制器与电动机的连接。因此这里仅介绍控制器与转把、闸把的连接。

通常与转把、闸把连接一个 6 脚连接器，它的 1 脚、4 脚（红线）是 5V 供电，2 脚（黑线）是接地，3 脚（黄线）接转把调速信号输出线，5 脚（蓝线）是接地，6 脚（绿线）接闸把的制动信号输

出线。普通智能有刷电动机控制器的连接如图 4-28 所示。

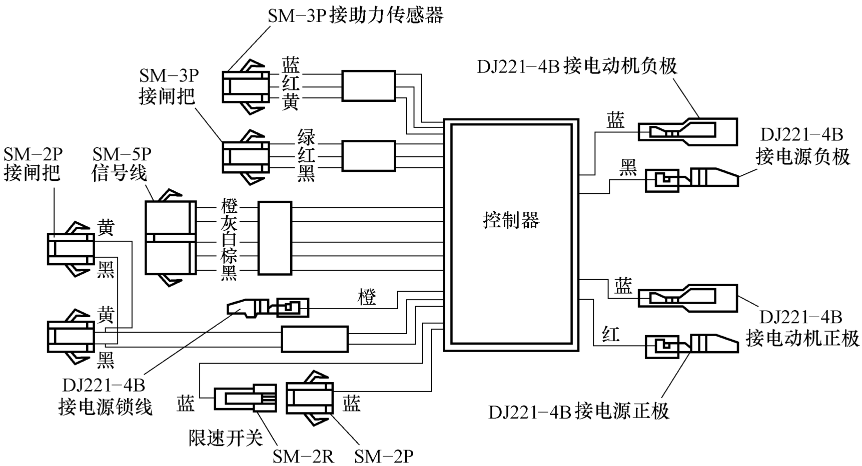


图 4-28　普通智能有刷电动机控制器的连接

普通无刷电动机控制器的连接如图 4-29 所示，普通智能无刷电动机控制器的连接如图 4-30 所示。

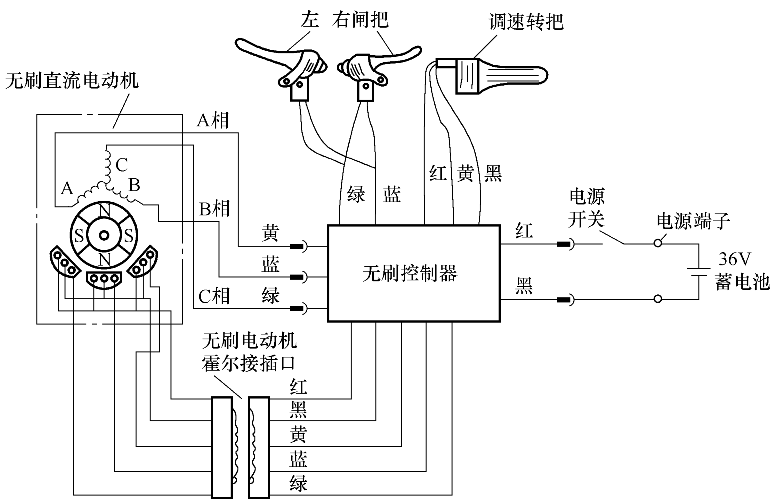


图 4-29　普通无刷电动机控制器的连接

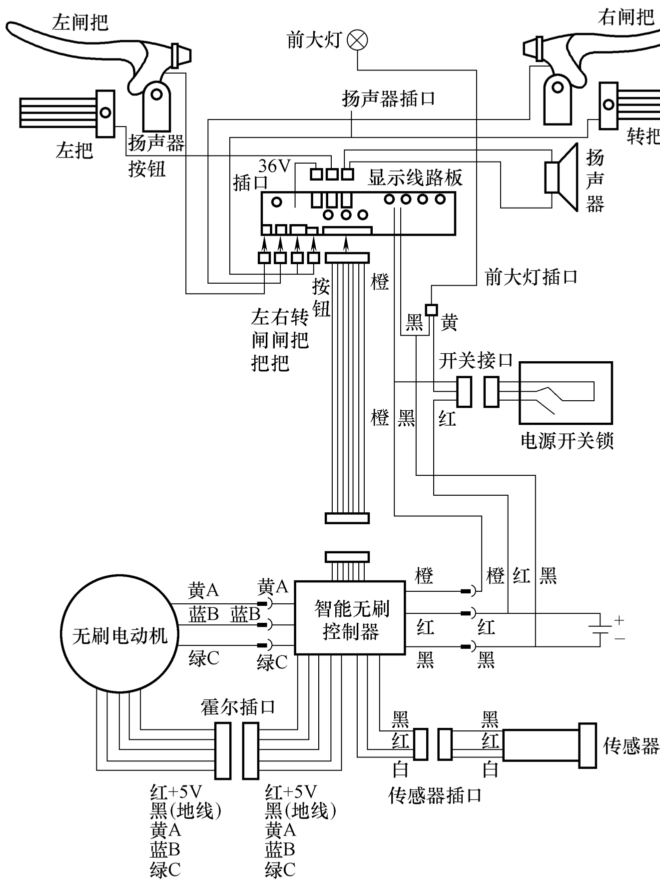


图 4-30　普通智能无刷电动机控制器的连接

4.5.4　控制器的电路图解

下面我们分别对有刷控制器和无刷控制器的电路做简要的分析。

1. 有刷控制器的电路图解

电动自行车的有刷控制器一般包含稳压电源电路、调速控制信号放大电路、PWM 电路、功率场效应晶体管变换输出电路、欠电压保护电路、过电流/限电流保护电路等。

典型有刷控制器的电路如图 4-31 所示。

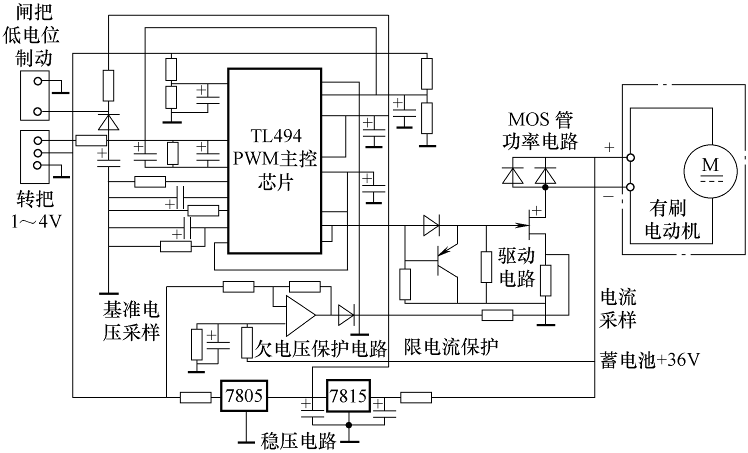


图 4-31　典型有刷控制器的电路图

（1）稳压电源电路

稳压电源电路主要是为控制器内部的电子组件或者电路提供工作电压，一般是低于 36V 的直流电压，即 5V、12V 等，因此内部稳压电路有采用电阻限流、三端稳压器稳压的，有采用电阻限流稳压二极管稳压的，有采用电阻限流降压的等多种电路形式或结构，还有的采用 DC-DC 开关电源型。

1）采用三端稳压器稳压。常用的三端稳压集成电路有 7805（78105）、7806、7812、7815。它们的输出电压分别为 5V、6V、12V 和 15V 等 4 种。

① 78 × ×系列三端稳压集成电路。图 4-32 所示为 78 × ×系列三端稳压集成电路。

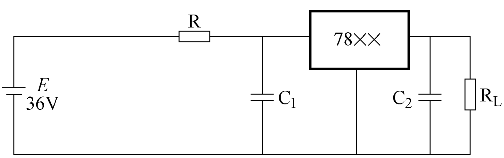


图 4-32　78 × ×系列三端稳压集成电路

图 4-32 中，R 为降压限流电阻、C_1、C_2 为滤波电容。内部电源输出的 5V、6V 电源，主要为调速转把中的霍尔组件提供电源，或为

电子闸把中霍尔组件提供 5V 电源。7812、7815 输出电压分别为 12V、15V，为控制器内部集成电路、驱动电路供电。有的电子闸把中霍尔组件由 12V 或 15V 电源供电。

② TL431 精密稳压器稳压。由 TL431 提供稳定电压的电路，如图 4-33 所示。R_3、R_4 分压决定输出电压 V_o。R4 两端电压为 2.5V，在电动自行车控制器中常用 5V 稳压电源。

2）采用稳压二极管稳压。如图 4-34 所示，一般常用稳压管 VS 稳压值为 5V、12V 或 15V，功率为 1W。

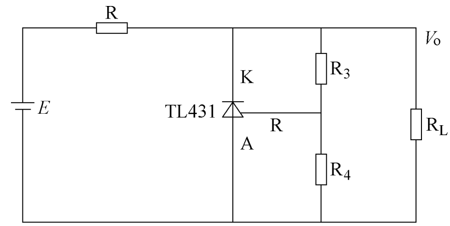


图 4-33　TL431 精密稳压器

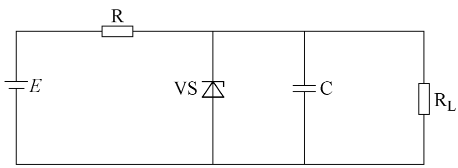


图 4-34　稳压二极管稳压电路

（2）PWM 电路

主芯片的主要功能是把调速转把、闸把及欠电压保护电路、过电流保护电路的信号经内部电路放大、转换处理后，输出相应的信号以控制场效应晶体管的导通或截止。

脉宽调制 PWM 芯片输入两个信号：一是幅度不变的三角波；二是调速转把的调速输入电压。PWM 芯片输出相应脉冲宽度加到驱动电路来控制功率开关管的导通。

PWM 电路往往采用 PWM 集成电路为核心组成，主要是根据调速手柄的输入电压，控制输出相应脉冲宽度的方波，并该方波再输送

到驱动整形电路。驱动整形电路一般由 MOS 管组成，把 PWM 信号整形后再送到开关电路，去控制控制电路的导通时间与关闭时间，从而控制电动机。开关电路的引线与电动机另一引线相连。

电动机驱动电路如图 4-35 所示。

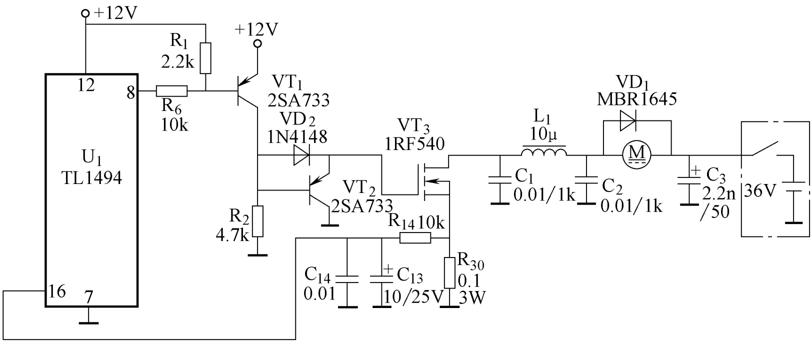


图 4-35　电动机驱动电路

该电路是由 U_1 的 2 脚（来自调速手柄的可变电压）与 1 脚电压比较（1、2 脚图中未标注），8 脚输出 PWM 脉冲，8 脚脉冲宽度受 2 脚电压影响，一般是 2 脚电压越低，则 8 脚脉冲宽度越宽。8 脚脉冲经过 VT_1、VT_2 对 PWM 信号放大，VT_3 为开关控制，然后共同作用在电动机上，实现对电动机转速的控制驱动。VD_1 是续流二极管，主要起到保护电动机的作用。

（3）驱动电路

驱动电路把主芯片输出的微弱驱动脉冲电压加以放大，然后加到场效应晶体管的栅极，使功率管良好地饱和导通。有刷电动机控制器的驱动器电路采用推挽放大器构成。

控制器的功率开关管是电压控制型 VDMOS，对驱动电路的输出功率比双极型的晶体管要小。图 4-36 给出了常见的两种驱动电路。

图 4-36a 所示为控制器中广泛应用的互补推挽式放大器。其上面为是一只 NPN 型晶体管，下面是一只 PNP 型晶体管。两只管子的基极直接相连，接输入信号，发射极也直接相连，作为输出。

图 4-36b 所示为 TL 494 内部的 PWM 输出信号，由内部输出级

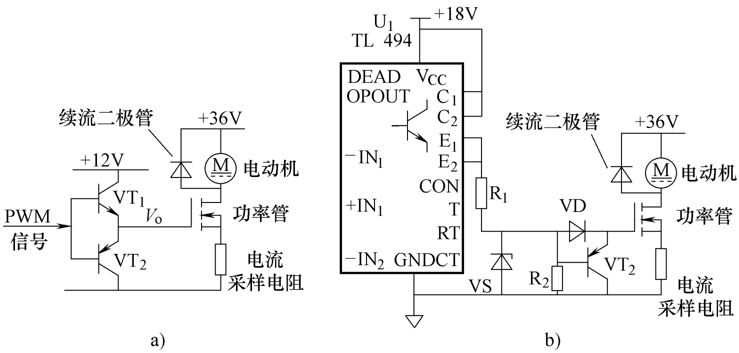


图 4-36　两种 VDMOS 驱动电路

a）互补推挽式驱动电路　b）TL494 内部的 PWM 驱动电路

NPN 型晶体管发射极 e 输出。内部接成了射极跟随器，输出电流很强，经 R_1、VD 直到 VDMOS 的栅极。在输出正脉冲时，VT_2 发射结反偏截止，VDMOS 管导通；当正脉冲结束低电平到来时，VD 反偏截止。VT_2 发射结正偏导通，迅速将 VDMOS 管栅极的残余电荷放掉，加快了它的截止。供电是 18V，VS 是 10～12V 稳压管，保护功率管栅极不被击穿，R_2 是 VT_2 的基极电阻。

（4）输出电路

控制器的输出功率管一般使用功率场效应晶体管，它的栅极得到驱动电压后饱和导通。最少的是 1 只，最多的是 5 只并联使用，一般采用 2 只。它相当于一个电子开关，导通时相当于开关闭合，接通电动机工作电源，电动机得电而转动。场效应晶体管截止时，相当于关切断电动机工作电源，电动机断电而停转。

有刷控制器功率变换输出电路如图 4-37 所示。

图 4-37 中，VT_1、VT_2 为互补推挽驱动电路，R 为防振电阻。MOS 场效应晶体管输入阻抗非常高，栅极很容易感应干扰信号而自激，接入 R 可以防止 MOS 场效应晶体管栅极自激。

当 VF 导通时，脉宽控制芯片输出的驱动信号接两只共基极驱动推挽管，驱动电推挽管 VT_1 是 NPN 型，VT_2 是 PNP 型。两只推挽管 VT_1、VT_2 的基极相连接入脉宽控制芯片。VT_1、VT_2 的发射极也连

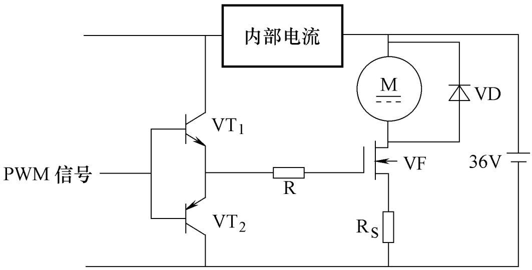


图 4-37　有刷控制器功率变换输出电路

接在一起并接在功率管 VF 的控制栅极。

推挽管的工作原理是：当 PWM 芯片输出为高电平时，推挽管 VT_1 导通，VT_2 截止；当 PWM 输出为低电平时，推挽管 VT_2 导通，VT_1 截止，这样 VT_1 和 VT_2 两管轮流导通其间存在一定的死区，其主要原因是 VT_1 和 VT_2 的发射极没有接特定的偏置电压。

硅管的发射极死区电压为 0.6V 左右，锗管的发射极死区电压为 0.3V 左右。

（5）保护电路

保护电路实现的功能如下：

1）限电流保护。限电流保护（或过电流保护）电路如图 4-38 所示。其作用是对控制器输出的最大电流进行限制，以保护蓄电池、控制器的功率管、电动机等不会因出现允许范围以上的大电流而损坏。

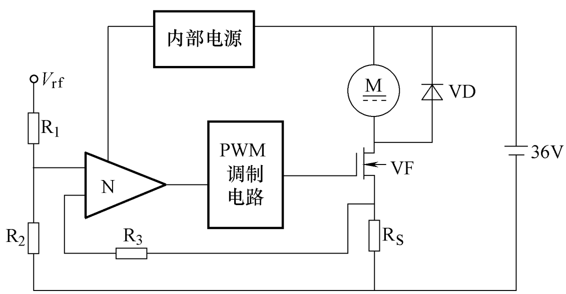


图 4-38　限电流保护电路

图4-38所示的限电流保护电路由取样电阻 R_S、运算放大器N及参考电压分压电阻 R_1、R_2 组成，有刷电动机控制器中 R_S 接场效应晶体管源极与地之间。R_S 采样电阻一般取值0.01Ω/5W，取值过大则控制器功率消耗过多，输出功率减小；取值过小，则起不到采样作用。

当控制器输出电流达到限流值12A（15A）时，此电压经电阻 R_3 送往运算放大器一端。电阻 R_1 和 R_2 对参考电压 V_{rf} 进行分压，电阻 R_2 上分得的电压为 V_{R_2}，此电压送往运算放大器另一端。由运算放大器对 V_{R_S} 和 V_{R_2} 进行比较，如果 $V_{R_S} > V_{R_2}$ 运算放大器N输出控制信号，控制信号使PWM电路输出脉宽变窄，输出电压下降，从而使输出电流减小；当电流超过限流值时，运算放大器输出保护信号，使PWM电路停止输出功率，场效应晶体管关闭，起到保护控制器和蓄电池的作用。

2）欠电压保护。欠电压保护电路在蓄电池电压降低到控制器设定值以下时，停止PWM芯片信号的输出，以保护蓄电池不至于在低电压情况下放电，其电路如图4-39所示。

图4-39中，36V电压通过VS、R_1、RP、R_2 采样，与 R_3、R_4 参考电压分压进行比较，当蓄电池电压大于31.5V时，比较器无输出信号，不影响控制器正常工作；当蓄电池电压小于31.5V时，比较器翻转，输出信号关断场效应晶体管以保护电池和控制器，避免蓄电池过放电，造成蓄电池过早损坏，并防止低压时电动机电流过大而烧坏控制器。

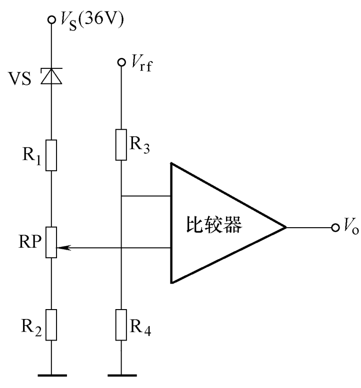


图4-39　欠电压保护电路

3）过载保护。过载保护和限电流保护是相同的。载重超限必然引起电流超限，首先烧毁开关功率管，只要无刷控制器功率烧毁一只，变成两相供电后，电动机运转变得无力，骑行者立即可以感应到脉动异常；如继续骑行，接着就烧毁第2个、第3个功率管。有两相

功率管不工作，电动机即停止运行，有刷电动机则失去控制功能。但只要有过电流保护，载重超限后电路自动切断电源，可以避免因超载造成的损失。

4）限速保护。这是助力型电动自行车独有的控制程序。当车速超过某一预定值时，电路停止供电不予助力。对电动型电动自行车而言，统一规定车速为 20km/h。车用电动机在设计时，额定转速就已经设定好了，控制电路也已经设好。电动自行车只能在不超过这个速度状态下运行。

5）欠速保护。这是为不具备零速起步功能的无刷控制系统而设置的，当车速没有达到规定的速度时，电路拒绝供电。

（6）电量显示

为便于用户了解蓄电池的能量情况，设置了电量显示电路。

（7）防“飞车”电路

在电源与电动机间串接继电器，如果有“飞车”现象，控制器输出控制信号加到继电器上切断电源与电动机的供电电路。如果电动机不“飞车”，霍尔组件将检测不到异常“飞车”信号，控制器不会切断电源与电动机的供电通路，电动机会受调速转把控制而正常旋转。

2. 智能有刷控制器的电路分析

智能型有刷控制器利用数字技术、PWM 控制技术，采用单片机控制和管理电动自行车整车的电器部件，实现控制器的智能化和人性化，具有极高的可靠性，对全车电器自动检测且自动保护，特别是能实现输出端直接短路保护功能，提供整车“助力”（助力比为 1∶1、1∶2、1∶3）、“电动”、“自动巡航定速”3 种骑行模式。如和与之配套的系列仪表板结合能显示出各种功能状态，助力时具备防反转功能。

3. 无刷控制器电路分析

无刷电动机控制器和有刷电动机控制器有些电路及功能十分相似，如它们都有内部电源电路，PWM 电路和振荡器，欠电压、过电流保护电路等。而有些电路功能虽相似，但电路组成却不同，如驱动电路、输出电路。

（1）无刷控制器与有刷控制器的主要差别

1）输入多了一个转子位置信号，这是 3 个霍尔传感器送来的，由它们来决定 6 个输出驱动信号的相序。

2）输出是三相的共 6 个驱动信号，这 6 个信号严格按一定时序排列，分别对应 6 只三相桥式功率开关管。

3）只对 6 个信号中的 3 个进行脉宽调制（PWM），一般调制低端驱动。

（2）无刷控制器控制电路的组成

直流无刷电动机控制器控制电路一般包含以下电路：

1）内部电源电路；

2）位置信号检测放大电路；

3）PWM 电路；

4）三相逻辑信号形成电路（包括上臂驱动逻辑信号产生电路、下臂驱动逻辑信号产生电路及脉宽调制信号综合电路）；

5）锯齿波振荡器；

6）制动断电电路；

7）A 相、B 相及 C 相预驱动电路；

8）三相桥式功率场效应晶体管开关电路；

9）欠电压保护电路；

10）过电流保护电路。

（3）无刷控制器的基本电路

图 4-40 所示为典型无刷控制器的基本电路。

1）内部电源电路。无刷电动机控制器内部电源电路与有刷电动机控制器电源电路相似，为三相六拍激励脉冲形成及控制电路、驱动电路、调速控制电路等供电。一般由 7815、LM317 等构成。

2）位置信号处理电路。无刷电动机控制器位置信号处理电路，先对无刷电动机中位置传感器产生的位置信号进行放大、整形，形成具有一定时序的三相逻辑信号。当改变三相信号时序时，就可以改变电动机转向。

3）PWM 电路。PWM 电路根据无刷电动机的位置霍尔检测元件输入的信号，主芯片产生三相驱动电路所需的驱动电压，使三相驱动

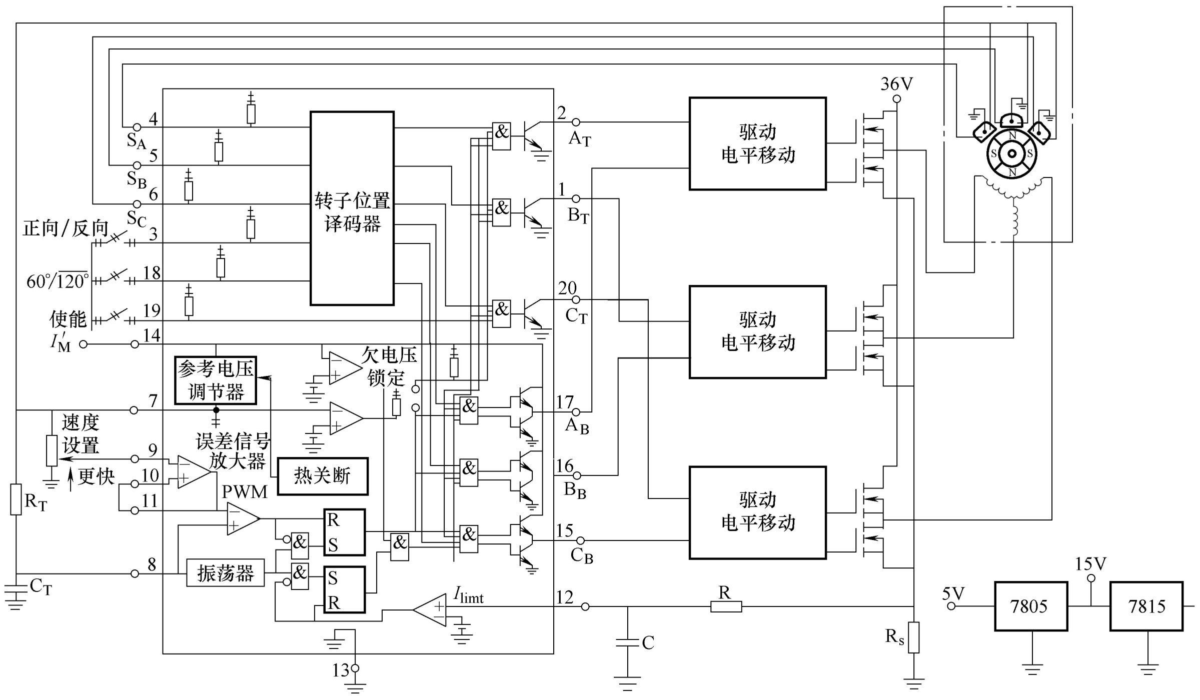


图 4-40　典型无刷控制器的基本电路

电路轮换工作。主芯片还能把调速转把、闸把及欠电压保护电压、限电流保护电路的输入控制信号经内部相关电路处理后输出不同的控制信号。

4）位置检测电路和三相逻辑信号形成电路。放大整形后的位置信号分别送到三相上臂驱动信号形成电路和三相下臂驱动信号形成电路中，产生三相桥式上臂驱动信号和三相桥式下臂驱动信号。

5）振荡电路。振荡电路由振荡器、定时电阻 R_T、电容 C_T 构成。由振荡电路产生的锯齿波与调速信号送到比较器中，通过比较器、产生 PWM 信号，送入三相桥式下臂驱动信号形成电路中，与位置逻辑信号综合，最后对三相桥式输出电路下臂场效应晶体管进行调制，完成无刷电动机转速控制。

6）制动断电电路。闸把产生的制动信号送到控制器中，加到停止引脚上，通过逻辑电路处理，关断上、下臂逻辑信号输出，实现制动断电。

7）驱动电路。无刷控制器根据电动机的需要设置有 3 个相同的驱动电路，驱动电路将主芯片输出的脉冲信号加以整形、放大后提供给输出级的功率管。由 6 只场效应晶体管接成三相桥式全控制电子开关构成逆变输出电路，完成电子换相。

由于上面 3 个臂的输出管的驱动电压高于电源电压，因而驱动电路还设计了升压电路。

8）三相场效应晶体管输出电路。无刷电动机控制器场效应晶体管输出电路，由 6 个相同的大电流功率管组成，它的导通和截止在时间和相位上是有先后顺序的，否则电动机不能转动。

9）欠电压保护电路。该电路主要是为防止蓄电池在低压下出现过放电现象而设计的。当蓄电池端电压下降到控制器设定值时欠电压保护电路工作，并且将检测信号加到主芯片内部。当主芯片内部电路检测到保护信号时，主芯片切断驱动信号，输出功率管因得不到驱动激励电压而不工作，从而保护蓄电池不在低电压下放电。

10）过电流保护电路。该电路主要在控制器输出大电流时进行控制，即保护蓄电池、控制器、电动机在安全范围内工作。当电动机负载加重时，功率管的输出电流增大，此时欠电流电阻上的电压随功

率管电流的增大而升高。当该电压加到主芯片上时主芯片检测到该电压，控制功率管的导通时间，使功率管不在大电流下工作。

4.6　电动自行车充电器电路图解

我们知道，充电器是给蓄电池补充电能的电器装置。那么，充电器是如何实现其充电功能的？充电器是电路构成又是怎样的呢？

4.6.1　充电器的构成及充电模式

1. 充电器的构成

充电器内部的主要元器件有脉宽调制专用集成电路、电压比较放大器、开关管、整流二极管、驱动晶体管、电阻、电容及变压器等。

充电器一般都由整流模块，滤波模块，过电压和过电流保护模块、脉冲充电电路、PWM 电路、DC/DC 功率转换电路等部分组成。

现代脉冲智能充电器还以高频开关电源技术为基础，嵌入先进的智能控制数字电路，采用智能检测和控制技术来调节充电器的脉冲输出比例，实现可控去极化功能。充电器在充电过程中采用了自适应技术，能实时地检测蓄电池的充电情况，自动调整充电器的充电模式，实现最佳模式控制，且具有完善的保护功能，最大限度地保证了充电器工作的稳定性和可靠性。

充电器的种类多种多样，但结构大致一样，主要区别在于所选用的脉宽调制（PWM）芯片不同（如 UC3845、UC3842、SG3524、TL494 等）。

2. 充电器的充电模式

充电器的充电模式一般分为以下两种。

（1）二阶段充电模式

这两个阶段为

1）先恒压充电，充电电流随蓄电池电压的上升逐渐减小；

2）当蓄电池电量补充到一定程度以后，蓄电池电压会上升到充电器的设定值，此时转换为涓流充电。

（2）三阶段充电模式

这两个三阶段为

1）充电开始时，先恒流充电，迅速给蓄电池补充能量；

2）等蓄电池电压上升以后转为恒压充电，缓慢补充蓄电池能量；

3）蓄电池电压继续上升，达到充电器的充电终止电压值时转为涓流充电，以保养蓄电池和供给蓄电池自放电电流。

4.6.2 充电器的工作原理

充电器充电时是将220V交流电压经整流滤波电路转变成300V左右的直流电压，通过高压开关电路和电压变换电路，产生蓄充电时所需的低压直流电，再由控制电路控制后对蓄电池进行充电。

充电器中的恒流、恒压充电控制电路是用来使充电时的充电电流、充电电压保持稳定，以防充电时损坏蓄电池。

目前，电动自行车大多采用开关电源式充电器充电。开关电源式充电器是将市电直接整流，变为310V左右的直流电，然后进行高频转换。

以功率转换部分的构造区别，开关电源式充电器又可分为单激式和半桥式两类，如图4-41所示。

1. 单激式

单激式是将310V的直流电通过开关管给变压器一次绕组断续通电，由变压器一次绕组将能量传给二次绕组。

2. 半桥式

半桥式是将310V的直流电通过开关管不断改变方向给变压器一次绕组通电，变压器二次绕组通过电磁感应出非正弦低压交流电，经全波整流、滤波后给蓄电池充电。

3. 半桥式和单激式的共同点与不同点

（1）共同点

半桥式和单激式的共同点都是闭环控制（反锁控制），其方法是电压或电流负反馈，与预设值相减后，通过PWM芯片控制功率开关管的导通比。

（2）不同点

1）半桥式有一个辅助电源，而单激式有两个，高压侧、低压侧各一个。

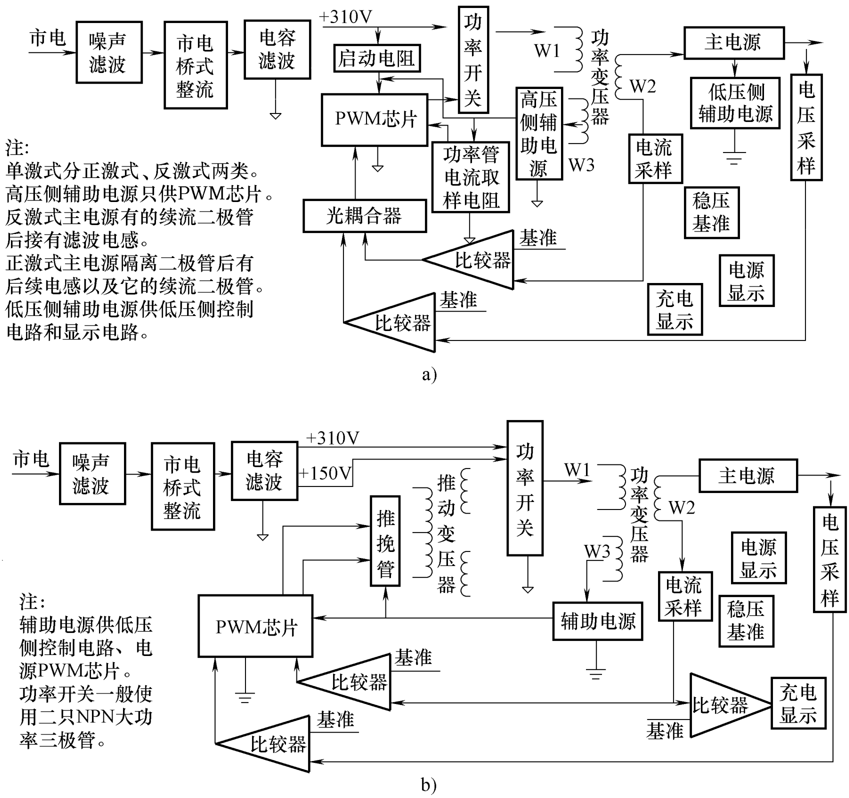


图 4-41　开关电源式充电器
a）单激式　b）半桥式

2）带市电部分和低压侧的隔离，半桥式靠功率变压器和推动变压器，单激式靠功率变压器和光耦合器。

3）PWM 芯片及启动方法，半桥式用 TL494，靠功率变换级自激振荡，功率变压器辅助绕组供电启动，也可以依靠被充电蓄电池启动，而单激式用 UC38 × × 系列，靠市电桥式整流输出的 310V 的直流电经启动电阻降压启动。

4）功率转换级，半桥式一般是两只 NPN 功率晶体管。

4.6.3　充电器的电路图解

如图 4-42 所示，为某普通开关电源式充电器电路原理图，主要

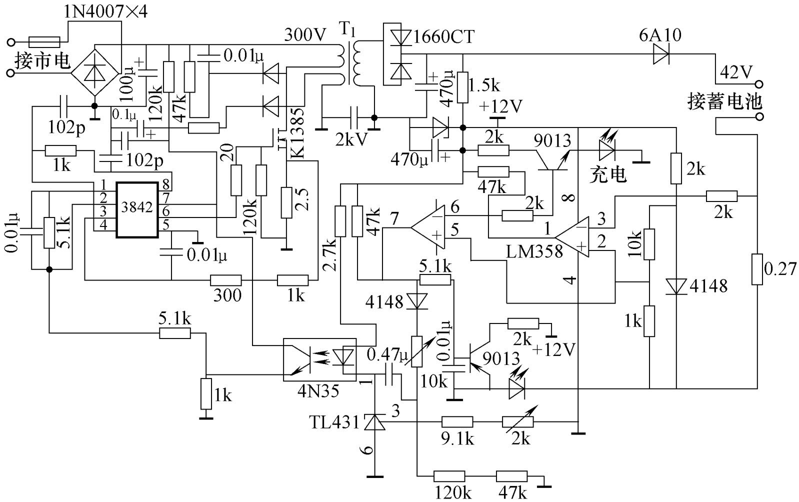


图 4-42　某普通开关电源式充电器电路原理图

由整流滤波、高压开关、电压变换、恒流、恒压及充电控制等几部分组成。

该充电器将输入的 220V 市电电压经整流滤波后转换为直流 300V 左右的电压，通过开关管的接通和关断，使 300V 直流电压变成控制的交流电压。交流电压通过开关变压器耦合后在其二次侧产生低压交流电，低压交流电再通过二极管整流后输出直流充电电压。开关管受电源模块 3842 的控制，光耦合器 4N35 将二次侧的电压波动信号反馈给 3842 模块，从而达到稳定输出电压的目的。

使用开关电源作为充电器的好处是能有效根据负载的大小控制输出，保护负载并节约能源。

下面我们就开关电源式充电器的基本电路做详细的了解。

1. 整流

整流是通过充电器内设的整流电路来完成的，其电路形式可分为半波整流和全波整流两种，如图 4-43 和图 4-44 所示。一般采用全波整流电路。经变压后电流在正方向流动时，先经二极管进入充电电路，经蓄电池充电后，再返回变压器形成反方向的回路。这样，不管电流是什么方向，充电电路都有电流通过。

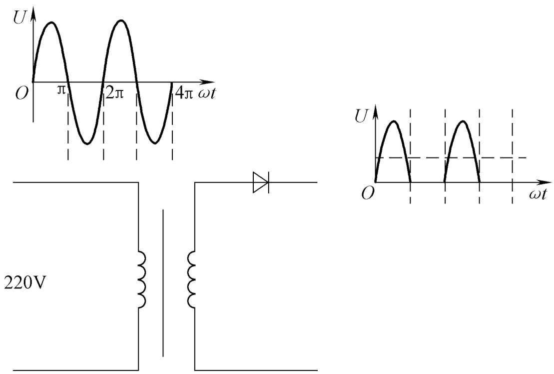


图 4-43　半波整流电路

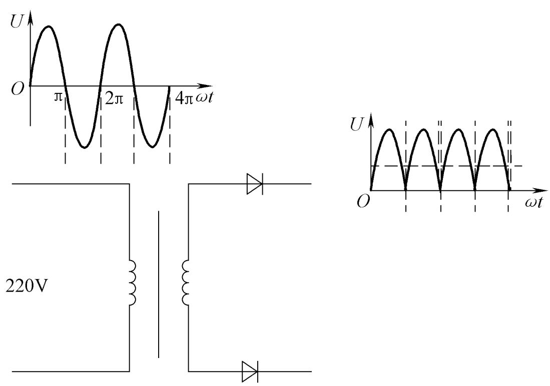


图 4-44　全波整流电路

2. 滤波

经整流后的电压波动较大，且还带有一定比例的交流成分，因此必须进行滤波处理。滤波电路的形式很多，一般分为电容滤波电路和电感滤波电路。

3. 稳压

由于市电线路会经常发生波动，使电压不稳；同时电路负载的变化也会造成电路电压不稳，尤其是在最后阶段超过蓄电池的充电终值，这些都会影响蓄电池的使用寿命。稳压就是在电路中加上一个稳压管，如图 4-45 所示，使电路电压保持在设定点上，以保护蓄电池

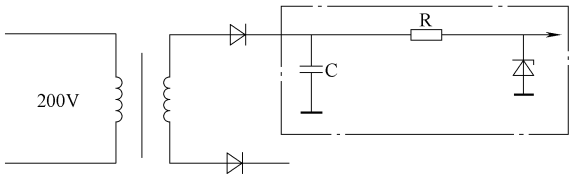


图 4-45　稳压电路

并向负载提供稳定的电源。稳压控制电路由误差采样、放大电路和调宽或调频调宽电路两部分组成。

4. 自动调压电路

由于稳压管只能保持电路电压不超过规定值，不能随电路变化而进行调整电压，而且当市电用电不均衡，电网电压波动较大时，稳压管就不能满足要求了。当电压超过要求时，它可以将超过部分削掉，而当用电高峰电压低于要求值时，就不能补足，仍会出现电压不正常的情况。所以必须采用自动调压电路来进行稳压。

自动调压电路有以下两种：

1）由分立元器件组成的电路；

2）现成的稳压集成电路。

目前新型的充电器普遍采用稳压集成电路来自动调节电路电压。当电压过高时可以调低，当电压过低时它可调高，使电压始终稳定在设定值的范围内。

图 4-46 所示为电动自行车常用的 LM317 三端可调集成稳压器内部框图及电路接法。该稳压器输出电压范围为 1.20～37.0V，最大输出电流为 1.50A。3 个引脚分别为输入、控制和输出端。输入端 V_1 直接接整流电路，控制端 V_{ADJ}一般由输出电路提取控制信号，经稳压后输出的 V_o 电压供充电使用。

LM317 集成稳压器的基准电压为 1.25V，当 V_o和 V_{ADJ}之间的电压不是此值时，电路内部即进行调整，使 V_o 和 V_{ADJ}之间重新回到 1.25V 的电压。当 R_2 动点向上滑动时，R_2 与电阻 R_1 之间的压差减少，输出电流就增大；反之，向下滑动时，R_2 与 R_1 之间压差提高，输出电流相应减少。使 V_o 和 V_{ADJ}之间的电压始终保持在 1.25V。这样就可以保证输出电压的稳定，为充电电路提供稳定的电压。

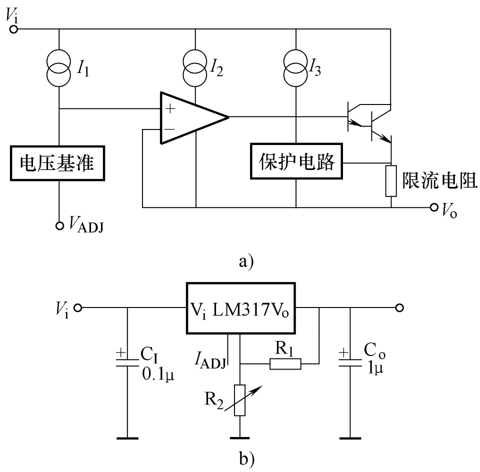


图 4-46　LM317 三端可调集成稳压器

a）内部框图　b）电路接法

5. 自动调整电流电路

充电器自动调整电流电路主要有整流、充电电路和阻容组件等组成振荡器、稳压管导通自动关断电路和蓄电池接口电路。

（1）充电开始

当电器与蓄电池接通后，蓄电池电压通过电路中的二极管和电阻到单结晶体管的控制极，单结晶体管导通；电流通过振荡变压器触发晶闸管，使之导通；电路形成充电通路，对蓄电池进行充电。

（2）电流调整

在充电过程中，调整可变电阻，可调整晶闸管的导通程度，使电路通过的电流得到调整。

（3）自动保护

当电阻没有蓄电池接入时，即使接通电源，由于晶闸管没有导通，电路不能通过电流。

（4）自动断电

当被充电的蓄电池已经充满，达到终止电压时，电流即通过二极管，将稳压管击穿，电流被旁路，环路失电，单结晶体管因控制极失去电压而停振，充电电流倒流，不再进入蓄电池。

6. 脉冲反脉冲充电电路

目前大多数充电器都采用脉冲反脉冲的集成充电电路，如图4-47 所示。这种电路克服了电路结构繁琐复杂、不便调试的缺点，不但电路简单，周边散件少，调试简单，性能稳定，而且具有各种保护功能和自动调节控制功能，使用时安全可靠。

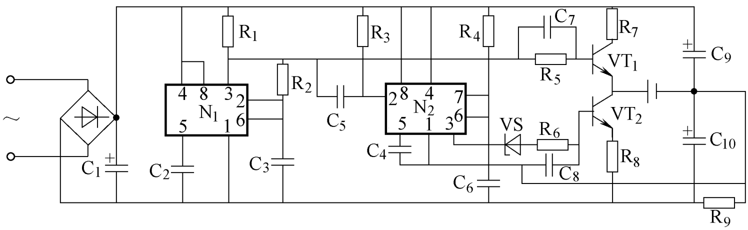


图 4-47　脉冲反脉冲的集成充电电路

电动自行车充电器使用的具有脉冲反脉冲充电集成电路的元器件有：555 时基电路、LZ110 芯片控制的充电电路、MAX712 芯片充电电路、SG3524、UC3842、TL494 等。

7. 保护电路

（1）防浪涌电路（防过电流保护电路）

在开关电源式充电器中，滤波电路中都接有滤波电容，而滤波电容在通电时两端电压为零，电容两端接近短路，电流特别大，这个特大电流称为浪涌电流。由于该电流很大，容易烧坏整流组件，为保护整流组件不被烧毁，常在电路中串接一只负温度系数的热敏电阻。

（2）防输入过电压电路

由于市电电压波动较大，相电压甚至会超过 250V。如充电器不加过电压保护电路，很可能损坏充电器，甚至损坏蓄电池。

常用的过电压保护措施是在电路中并联一个压敏电阻。压敏电阻两端的电压在未超过保护值时，其阻值相当大，可以认为断路。当两端电压超过保护值时，其阻值急剧下降，接近短路。压敏电阻并联在充电器交流 220V 的输入电路中，当交流输入电压未达到保护值时，压敏电阻相当于断路，不影响充电器的正常工作；一旦交流输入电压超过保护值，其电阻急剧下降，将输入电路短路，使熔断器报警、切

断，以达到保护充电器和蓄电池的作用。

（3）防蓄电池反接电路

因充电插座接线不同，充电时很可能损坏充电器，所以充电器要设置防蓄电池反接电路。防蓄电池反接电路如图 4-48 所示。

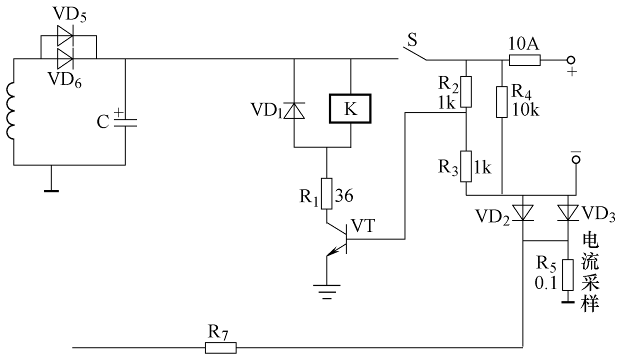


图 4-48　防蓄电池反接电路

在防蓄电池反接电路中，蓄电池和主充电源间接有继电器 K，该继电器的触头是常开的。当继电器常开触头闭合时，蓄电池才能正常充电。

当蓄电池接反时，二极管 VD_2、VD_3 导通，晶体管 VT 因得不到基极电压而截止，继电器 K 停止工作，常开触头切断主充电电源。当蓄电池接正时，蓄电池内剩余电压经电阻 R_2 为晶体管 VT 提供足够的电压，晶体管导通，继电器线圈有电流吸合常开触头，而接通主电源回路向蓄电池正常充电。二极管 VD_1 是续流二极管。

8. 反馈电路

当输出电压或电流由于某种原因发生变化时，就需要电压反馈或电流反馈。电压或电流反馈电路用来维持电压和电流的稳定。电压反馈和电流反馈在电路中的应用如图 4-49 所示。

电压反馈回路主要由电压采样电阻 R_1、R_2、R_3，电压反馈放大器 IC3a、基准稳压管 VS、光耦合器 IC_1 等组成。

电流反馈回路主要由电流取样电阻 R_9、R_{10}，电容 C_4，积分放大器 IC3b，基准稳压二极管 VS_1，光耦合器 IC_1 等组成。其稳流和限流过程是：R_2 为晶体管 VT 提供足够的电压，晶体管导通，继电器线

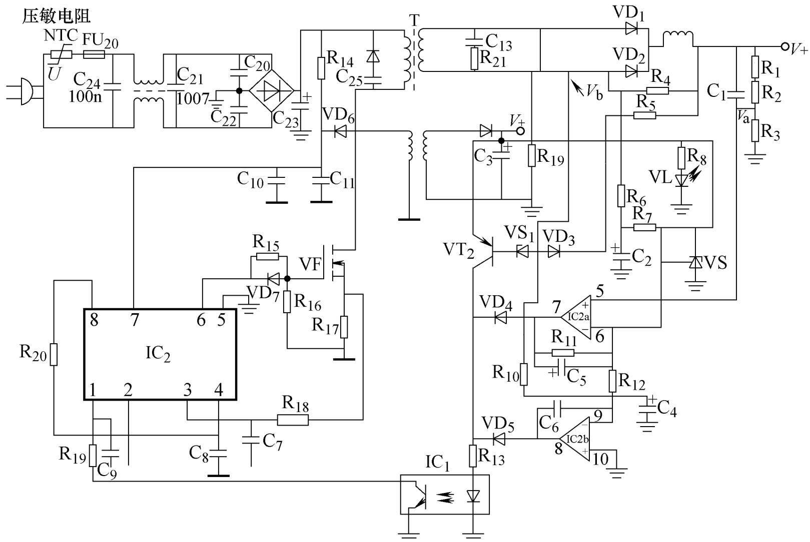


图 4-49　电压反馈和电流反馈在电路中的应用

圈有电流吸合常开触头，而接通主电源回路向蓄电池正常充电。二极管 VD_1 是续流二极管，保护晶体管不被损坏。

9. 功率转换电路

功率转换电路有 AC/DC 功率转换电路和 DC/DC 功率转换电路两种。

转换器是开关电源中最重要的组成部分之一，其基本类型有：单激型正激式（1 个开关管）、单激型反激式、推挽式、半桥式（2 个开关管）和全桥式（4 个开关管）转换器。

单激型反激式充电器是目前市场上电动自行车充电器使用最多的形式，配套 UC384X 电源芯片，芯片内含 5V 参考电源、振荡、误差放大、PWM、图腾柱式驱动等电路。

功率转换部分由变压器进行能量转换和传递。由于变压器能对交流电进行电能传递，对直流电则需要通过开关将通过一次绕组的电流大小和方向进行不断变换，这就是开关电源名字的来历。目前，充电器多采用单激式和半桥式功率变换器，而未采用全桥式功率变换器。

对直流电传递还有一个不改变一次绕组电流方向的方法，是通过

开关控制单方向电流导通和切断的时间进行传递。其中分成两步，开关导通时储能，开关截止时，储能释放给负载的叫反激式；不经过储能阶段，开关导通时，一次绕组电流增长，形成变化的磁场，感应到二次绕组给负载供电的叫正激式。

AC/DC 变换器有如下 3 种形式：

1）通过变压器多个绕组输出降压后的交流电压，再经整流后产生脉动的直流电压为蓄电池充电。

2）利用晶闸管对市电电压或变压器降压后的交流电进行整流，产生脉动的直流电压为蓄电池充电。

3）利用整流滤波电路将 220V 市电电压变换为 300V 的直流电压，再经开关电源变换为所需的直流电压，为充电器供电。

开关电源功率转换形式如图 4-50 所示。

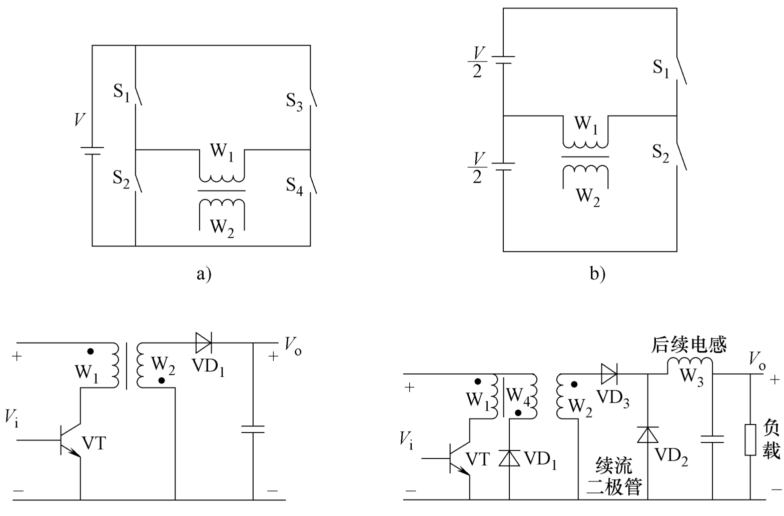


图 4-50　开关电源功率转换形式

a）全桥式　b）半桥式　c）单激型反激式　d）单激型正激式

10. 充电状态显示

如图 4-51 所示为充电状态显示电路。

采用发光二极管显示充电状态：

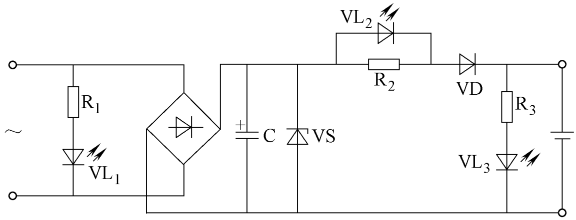


图 4-51　充电状态显示电路

1）接上电源而充电电路尚未接入被充电蓄电池时，发光二极管 VL_1 点亮；

2）充电电路接入被充电蓄电池时，发光二极管 VL_2 点亮，表示充电进行中；

3）发光二极管 VL_3 点亮，说明蓄电池已充满电，应切断电源停止充电。

11．蓄电池的充电方式电路

（1）恒流充电法

恒流充电方法就是对蓄电池进行充电时，自始至终保持充电电流恒定不变。

恒流电源充电电路如图 4-52 所示。

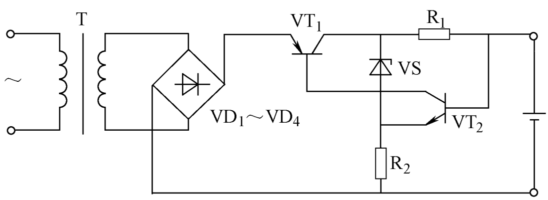


图 4-52　恒流电源充电电路

（2）准恒流充电法

准恒流充电法是在直流电源和蓄电池之间串接一个电位器，以增加电路内阻而产生恒定的充电电流，如图 4-53 所示。

电位器的阻值应根据充电后期的充电电流进行调整，使充电电流不会超过蓄电池的允许值。

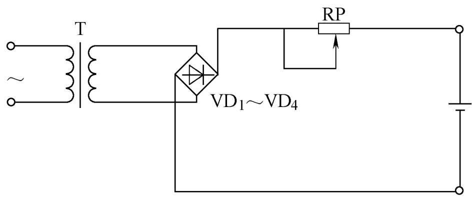


图 4-53　准恒流充电电路

（3）恒压充电法

恒压充电法是充电电源的电压在充电的整个过程中保护恒定不变。

恒压充电电路如图 4-54 所示。

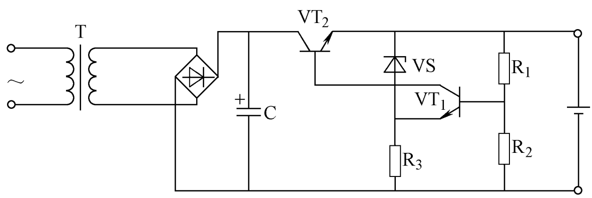


图 4-54　恒压充电电路

恒压充电法不适合给放电较深的蓄电池充电，也不合适给数量多的蓄电池充电，因为其不能使所有的电池均衡。所以电动自行车蓄电池不适合于用恒压充电。

第 5 章　电动自行车整车常见故障速修要点与技巧

5.1　常见整车机械故障的检修要点与技巧

这里所说的整车机械故障指车体机械故障。电动自行车在使用过程中，常常会出现一些车体的机械故障，譬如掉链、车胎漏气等故障。那么，这些故障如何检查和排除呢？

5.1.1　车体机械故障的检修思路

一般来说，电动自行车车体机械故障的发生主要是在车轮制动装置、车轴和车轮轮胎部分。

1. 车轮变形

车轮变形会使车轮与车架间发生严重摩擦，车轮转动阻力增大，电动机不能起动；摩擦不十分严重，但电动机要较大电流才能驱动，减少了续驶里程。

车轮变形不大的，经过整形消除摩擦；变形大的应拆卸部分辐条，修复变形部分，然后重新编条使车轮恢复原来平面。不能复原的只能更换新轮。

2. 车轴内有异物

车轴有时缠进绳索铁丝、塑料绳带等异物，增加了摩擦阻力，将车轮悬宽后用手转动时感到费力。这种情况只要除去绳索异物即可。

3. 轴承内钢珠破损

轴承内钢珠破损主要在前轮轴承。当钢珠破损时，行驶中会发出碾压碎物的声音；当钢珠丢失一定数量后，行驶中车轮会无规律摇摆，并会碰撞和磨损车架，一般认为是车轮变形，但经检查车轮没有任何变形，实际是轴承滚珠缺损造成的。更换一套同等粒径的钢珠，

换好后注以足够的高级润滑脂即可。

电动机中采用的是标准轴承，检查轴承磨损情况，磨损不明显的加注润滑脂，有明显磨损的更换同型号的新轴承。按规定，电动机轴承应当采用含油的，不需润滑维护。

4. 制动装置失调

制动装置失调不是制动失灵，就是增加阻力，两者都不允许发生（增加阻力就会影响行车速度和里程）。发现失调应及时调整，将故障排除。

5.1.2　常见车体机械故障的检修举例

一般来说，电动自行车车体结构大体上基本相同。因此，我们下面所讲到的各类故障现象适用于所有的电动自行车。

故障 1：电动自行车的异响

电动自行车车体异响故障的现象描述、原因分析及故障检修方法见表 5-1。

表 5-1　电动自行车车体异响故障的现象描述、原因分析及故障检修方法

故障现象	故障原因	排除方法
链条与链罩发生摩擦或相碰产生响声	链条过松	松开后轴螺母，将后轮向后拉动，使链条至适当位置，旋紧螺母
	链罩变形或损坏	移正链罩或更换新链罩
骑行时，链条与链轮、飞轮发出“咯咯”响声	链条过紧	调整链条，松开后轴螺母，将飞轮向前移，使链条放松至适当位置，旋紧螺母
	链条、链轮和飞轮不在同一平面上运行	调整链轮和飞轮使其处在同一平面上
	链轮轴向跳动	校正链轮
	链条节距拉长	更换链条
曲柄与链罩碰撞产生响声	中轴滚动轴承松动	调整滚动轴承间隙
	链罩位置不正	调正链罩位置
骑行时，曲柄松动并发出响声	曲柄和中轴配合松动（即销钉损坏）	收紧曲柄销钉或更换销钉

（续）

故障现象	故 障 原 因	排 除 方 法
轮胎与挡泥板支棍碰撞产出响声	车圈移位	调正车圈，拧紧轴螺母
	挡泥板支棍螺钉松动，使挡泥板移位	先拧紧挡泥板支棍螺钉，然后移正挡泥板，拧紧支棍在车架的紧固螺钉
闸皮和车圈摩擦发出响声	车圈移位，轴螺母松动	调正车圈，拧紧轴螺母
	闸皮移位	校正闸皮位置
前轮胎与前叉腿相碰发出响声	车圈变位，轴螺母松动	调正车圈，拧紧轴螺母
后轮胎与车架平叉立叉相碰发出响声	车圈变位，后轴螺母松动	调正车圈，拧紧轴螺母
电动骑行或滑行时，发出有规律的“嗒嗒”声	前轴或后轴部位滚动轴承的钢球爆裂	拆开滚动轴承，更换钢球
踏动脚踏在骑行中听到有规律的“嗒嗒”声	中轴滚动轴承的钢球爆裂（在排除上面的情况下）	拆开中轴滚动轴承，更换钢球

故障2：曲柄滑动

现象描述：电动自行车骑行时，当曲柄转到前方时，突然曲柄向前滑动跌下一段空档，或者曲柄转动时发出响声。

原因分析：引起电动自行车曲柄滑动常见的故障原因如下：

1）曲柄销与曲柄松动。

2）米制、英制曲柄销混淆使用，使曲柄销不吻合。

3）曲柄和中轴方锥部位不吻合。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

1）将滑动曲柄上的曲柄销打紧，如曲柄销被压损无法工作时，应更换新曲柄销。

2）更换合适的曲柄销。

3）用木槌向曲柄外端部往中轴处打紧，再拧紧紧固螺钉。

故障 3：骑行踏空

现象描述：当骑行踏动脚踏板时，链条无法带动车子前进，或者时而带得动，时而带不动。

原因分析：引起电动自行车骑行踏空一般主要是因为飞轮千斤与外套内齿啮合不好。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

1）清洗飞轮内污垢，使千斤不被油污粘住而能弹起工作。

2）校正千斤簧，使它藏在千斤的凹槽中。

3）更换千斤簧。

4）千斤头部磨损严重时，要换新的千斤。

5）飞轮外套内齿磨损严重时，更换飞轮外套。

故障 4：车圈飘动

现象描述：电动自行车骑行时，车圈飘忽不定，时而向左，时而向右。

原因分析：引起电动自行车车圈飘动常见的故障原因如下：

1）前轴或后轴的滚动轴承间隙过大。

2）辐条松紧不一，飘动固定在某一段位置。

3）前轴或后轴内的钢珠损坏或大小不一。

4）滚动轴承内零件损坏。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

1）调整滚动轴承的间隙。

2）调整辐条的松紧。

3）更换钢珠。

4）更换损坏的零件。

故障 5：曲柄跟着转

现象描述：电动自行车骑行时左右曲柄会跟着转动。

原因分析：引起电动自行车曲柄跟着转常见的故障原因如下：

1）飞轮的弹道处严重缺少润滑油；

2）飞轮滚动轴过紧。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）弹道内有颗粒而将飞轮卡住，飞轮不如正常时灵敏，于是便带动车轮外圈转动，再通过链条带动曲轴与电动自行车一起转动。可以在飞轮弹道处滴少许全损耗系统用油（俗称机油）。

2）飞轮滚动轴过紧，应调整飞轮滚动轴承。

故障6：钳形闸失灵

现象描述：电动自行车骑行时钳形闸失灵。

原因分析：引起电动自行车钳形闸失灵常见的故障原因如下：

1）闸皮距离车圈太远。

2）钢丝绳套折断或破裂。

3）钢丝绳与钢丝绳套被粘住。

4）紧绳螺钉松脱。

5）钢丝绳伸长。

6）闸叉只有单边起作用。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）调整闸皮与车圈的间隙。

2）更换新的钢丝绳套。

3）清理粘在钢丝绳上的泥沙等杂物；向钢丝绳和钢丝绳套注油润滑。

4）调整好闸皮和车圈间隙后，拧紧紧绳螺钉。

5）松开紧绳螺钉，调整好闸皮和车圈间的距离，拧紧紧绳螺钉。

6）调整固定螺钉，使闸叉能活动自如；调整闸簧，使其两边弹力均匀。

5.2　常见整车电路故障的检修要点与技巧

本节，我们来具体了解整车电路通常都会发生哪些故障，整车电

路故障的检修要点与技巧又有哪些。

5.2.1　整车电路故障的检测

电路故障与机械故障有所不同，电路故障通常不像机械故障能直观地表现出来，需要通过检测才能发现问题。

1. 电路和元器件检测的一般要求

（1）整体电路的检测原则

通常，电动自行车电路故障一般是开路或短路（或几条线烧损短路粘在一起）。当电动自行车某一电路工作不正常时，首先应分析电路的性质和特点，确定检测点，然后测试其电流和电压，将故障范围锁定后，再沿线路逐级查找。

（2）元器件的检测

检测必须要找准检测点，检测点不准确，测出的结果会造成误导，导致判断错误。

一般情况下，整体电路应找的是电压和电流检测点。检测时应分清元器件的输入、输出、电源、地、控制极等。在带电情况下，先测量各脚对地电压值，然后查找参考值，将实测数值与参考值（或完好元器件的正常参数）对比，即可判断该元器件是否损坏。

开关电源电路中的三端式器件较多，检测时，可通过在线测量各引脚绝对值或各脚数值之间的关系来进行判断。

（3）认真分析，逐级检测

1）有时电路工作不正常，经过调试又恢复正常，根本不是故障，所以发现问题不能一上来就想着手解决。应先分析电路不正常的性质和特点，然后逐级小心测试。

2）操作现象误认为是故障。操作通常误认为是故障的主要有以下几种：

① 无意间操作闸把。骑行时，习惯性地转把放在闸把上无意间制动，便会引起断电停车。

② 控制器过电流保护功能。当蓄电池电流过大时，会引起电动机负载过大，而控制器的过电流保护功能将会自动断电停车。

③ 控制器欠电压保护功能。当蓄电池电压低于 31.5V（正常值为 36V）时，控制器欠电压保护功能会将电源自动切断，引起自动

停车。

④ 没有按顺序充电。充电时，未按照电动自行车充电的要求顺序进行充电，可能充不上电，误认为蓄电池损坏。

2. 电路与元器件的检测方法

（1）调速转把的检测

在调速转把接地和供电电压正常的情况下转动调速转把，其输出信号电压应由低到高（1～4.8V）或由高到低（4.8～1V）变化，否则说明调速转把损坏。

调速转把的测量方法如下：一般在带电状态下测量，若用万用表直流电压档测得调速转把的电源电压为5V，说明其接地线良好。调速信号电压的测量方法是使黑表笔接地，红表笔测调速信号电压，转动调速转把从起步到最大位置，调速信号电压应在1～4.8V之间变动。如车速不可调整或调整范围小，则说明调速转把有故障。

（2）闸把开关的检测

电子闸把分为电子常高闸把和电子常低闸把两种。电子闸把采用的是开关型霍尔组件，该组件不制动时有高低电平之分。

当握紧低电平闸把制动时，制动信号电压应为1V左右；当放松闸把时，制动信号电压应从由1V变为4V，否则说明霍尔闸把开关异常，应予以更换。高电平霍尔闸把的测量结果与此相反。

（3）转向开关的检测

选用万用表的R×1档，让红表笔接电源的输入线，黑表笔接左侧电源输出线，然后将转向开关扳至左转向位置，此时万用表读数应为零，说明转向开关左侧转向部分正常；如电阻为10～100Ω，则说明接触头的电阻较大，应打磨转向开关触头。右侧转向开关部分的测量与上述相同。

（4）闪光器的检测

当打开转向开关时，如转向灯不亮或不闪光，可将闪光器的输入线和输出线短接起来。如转向灯恢复正常，则说明闪光器有故障。

也可用万用表测量闪光器的输入电压是否正常，如闪光器输出的脉动电压过小或为零，则说明闪光器故障。

（5）转换器的检测

转换器的作用是将 30～60V 的直流电压经变压器和稳压电路变换为 12V 左右的电压，供信号和照明电路等使用。转换器的电路一般有 3 根引线，其中红色的一根为电源输入线，黑色的一根为接地线，黄色的一根为信号输出线。

检测转换器一般是带电测量。打开电源锁，将数字式万用表的调节旋钮旋至 200V 电压档，让黑表笔接转换器的黑色接地线，红表笔接转换器的红色线，此时万用表的读数应是蓄电池端电压。然后将万用表的调节旋钮旋至 20V 电压档，此时黑表笔不动，红表笔接转换器的黄色输出线，万用表读数应在 12V 左右，否则说明转换器故障，应予以修理或更换。

由于信号、照明电路和电动机同属一个电源供电，如打开电源锁后，电动机能正常工作，而信号、照明电路（即使用转换器供电的用电器）的所有灯或仪器都不能工作，则说明转换器损坏。如信号、照明电路中个别用电器能工作，则说明线路或其他用电器有故障。

（6）仪表板的检测

1）智能式仪表的故障自诊断。智能式仪表除了普通的显示功能外，它和控制器配合还可检测整车电气系统的故障。用智能仪表板对整车进行故障检测时，各发光二极管对应的显示含义如下：

① 各指示灯亮 3 次，检测指示灯是否能正常工作。

② 电量指示灯顺序指示 3 个霍尔组件的通电情况与电动机磁钢的位置关系。用手转动电动机时，3 个指示灯顺序点亮，如果指示灯点亮的顺序是 100、110、111、011、001、000（其中 1 代表亮，0 代表灭），则说明该无刷电动机的相角是 60°；如果指示灯点亮的顺序是 100、110、010、011、001、101，则说明该无刷电动机的相角是 120°。

③ 缓慢转动转把，“欠电压”指示灯的闪烁频率与转把的转动角度呈对应关系。如转把在原始位置，指示灯不闪，转把转动角度越大，指示灯闪得越快，则表示转把输出的调速信号正常；否则，多为转把引线或转把异常。

④ 按下智能模式转换按钮时，“助力”指示灯亮，表示闸把正常。

⑤ 分别捏左、右闸把，“制动”指示灯亮，松开则不亮。

⑥ 缓慢转动脚蹬轮盘一圈“定速”指示灯闪 5 次，指示助力传感器工作正常。

2）仪表板的万用表检测。

① 用万用表直流电压档测量仪表上正极（相线）和接地端的电压，如电压正常，则说明仪表损坏。如无电压显示，则检查仪表内的插接器是否脱开或接触不良，如是，应紧固。

② 用万用表测量电源指示灯（发光二极管）是否损坏，如是，应予以更换。

③ 检查仪表电路板某个是否断裂，元器件是否有虚焊或脱焊现象，如是，则应更新或焊接修复。

有的电动自行车装有液晶仪表，这种电路比较复杂，故障率相应较高。安装在液晶显示仪表总成上的单片机不依赖控制电路而能独立完成各种显示。与控制器集成在一起的单片机，与控制器关系密切，单片机受控制器控制。

单片机无论是单独或与控制器合并，由于电路较多，如仪表一旦出现问题，应更换仪表总成或控制器。

电动自行车电路的检修，根据故障显示检测各元器件电源电压，即可快速判断故障部位，再结合其他检测可查找到故障元器件。

5.2.2　整车电路故障的检修思路

电动自行车整车电路故障多发现象、故障原因及排除方法见表 5-2。

表 5-2　整车电路故障多发现象、故障原因及排除方法

<table>
<tr><th>故障现象</th><th>故 障 原 因</th><th>故障排除方法</th></tr>
<tr><td rowspan="4">信号灯、照明灯不亮、电动机也不工作</td><td>电源锁损坏</td><td>更换电源锁</td></tr>
<tr><td>蓄电池盒熔丝熔断</td><td>更换熔丝</td></tr>
<tr><td>熔丝与其座松动或接触不良</td><td rowspan="2">紧固</td></tr>
<tr><td>蓄电池接线松动或脱落</td></tr>
</table>

（续）

故障现象	故 障 原 因	故障排除方法
转向灯全不亮	转向灯烧毁	更换灯泡
	转向灯灯座接地不良	修理或更换灯座
	灯座电源线断路	接通或更换导线
	转向灯电源线短路或断路	
	闪光器损坏	更换闪光器
	转向开关内部触头接触不良	修理或更换转向开关
	转换器故障	修理或更换转换器
	转向灯泡与灯座接触不良	修理或更换灯座
转向灯容易烧毁	转向灯灯泡老化	更换灯泡
	转向灯灯泡额定电压过低	更换标准灯泡
	转换器工作不良	修理或更换
	转向灯电路中某处突然断路	接线并绝缘良好
转向灯暗淡	转向灯额定电压过大	更换成标准灯泡
	转向灯灯座接地不良	修理或更换灯座
	闪光器损坏	更换闪光器
	转向开关内部触头接触不良	修理或更换转换开关
	转换器故障	修理或更换
	转向灯灯泡与其灯座接触不良	
	转向灯线路中某处接触不良	应紧固
	蓄电池电量不足	补充充电
转向灯闪光频率不正常	转向灯灯泡功率不符合规定要求	更换转向灯灯泡
	转向灯电源线松动锈蚀	修理或更换
	转向灯接地线松动锈蚀	
	转向灯与其灯座接触不良	修理或更换
	闪光器内部故障	更换闪光器
转向灯亮而不闪烁	转向灯灯泡的功率不符合规定要求	更换符合规定的灯泡
	闪光器与外电路接反	交换闪光器接线
	闪光器内部故障	更换闪光器
	蓄电池电量不足	补充充电或更换蓄电池

（续）

故障现象	故障原因	故障排除方法
某一侧转向灯均不亮	转向灯开关接触不良	修理或更换
	故障侧转向灯烧毁	更换转向灯灯泡
	故障侧电源线松动或锈蚀	修理或更换
	故障侧接地线松动或锈蚀	修理并更换
	故障侧转向灯与其灯座接触不良	紧固
某一侧仅一只转向灯不亮	转向灯开关接触不良	修理或更换
	转向灯灯泡与灯座接触不良	修理并更换
	转向灯电源线或接地线松动或接触不良	修理并更换
两侧转向灯闪光频率不同	转向灯灯泡的额定功率和电压不符合标准	更换为标准灯泡
	转向灯灯泡与其灯座锈蚀或松动	修理或更换
	转向灯电源线或接地线松动或接触不良	修理或更换
制动灯不亮	制动灯灯泡烧毁	更换制动灯灯泡
	制动闸把开关损坏	更换制动闸把开关
	制动闸把开关至制动灯间有短路或断路处	接通或更换导线
	制动灯灯座接地不当	修理或更换
	制动灯电路中某处断路或短路	接通或更换导线
	转换器损坏	修理或更换
扬声器不响	蓄电池电量不足	补充充电或更换蓄电池
	蓄电池至扬声器按钮间的线路断路或短路	接通或更换导线
	扬声器按钮与扬声器间的线路或短路	
	扬声器按钮内部触头接触不良	修理或更换扬声器按钮
	扬声器调整不当	重新调整
	扬声器损坏	更换扬声器
	扬声器接地线断开或接触不良	修理或更换
	转换器异常	

（续）

故障现象	故 障 原 因	故障排除方法
扬声器声音异常	扬声器损坏	调整或更换扬声器
	蓄电池电压不足	蓄电池充电
	转换器输出电压过低	修理或更换
	扬声器按钮损坏	修理或更换
	扬声器线路中某处接触不良	
前照灯不亮	前照灯烧毁	更换前照灯
	前照灯开关损坏	更换前照灯开关
	蓄电池至前大灯开关间的线路断路或短路	修理或更换
	霍尔元件与计数器间的连接导线或插接器接触不良	
霍尔电子式车速里程表显示值不准确	车体上的霍尔传感器性能变差	更换霍尔传感器
	车体上的霍尔传感器受潮	用吹风机烘烤霍尔传感器
	计数器故障（计数器损坏的几率一般很小）	更换计数器
	霍尔元件与计数器间的连接导线或插接器接触不良	修理或更换
	计数器接地线不良	修理
	计数器电源线接触不良	修理或更换

5.2.3　常见整车电路故障的检修举例

总体来说，各型号电动自行车整车电路的结构原理大体相同，其出现故障的原因也有很大的相似之处。我们下面所讲到的各类故障现象适用于所有的电动自行车。

故障 1：电动自行车整车无电

现象描述：打开电源锁，信号、照明灯不亮，电动机也不转动。

原因分析：引起电动自行车整车无电的原因如下：

1）熔断器熔断，熔断器座有烧蚀现象。

2）电源锁损坏。

3）插接器或线路连接松动。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）用一根铜导线短接熔断器，如整车有电，则说明熔断器熔断或熔断器与其座接触不良。确认如熔断器座有烧蚀、锈蚀现象，应进行打磨，并增加熔断器座与熔断器的接触压力。

2）将电源锁的输出和输入线短接，如整车有电，则说明电源锁异常，应予以更换。

3）检查线路的接触处如蓄电池的连接，如插接器松动，应加以修复。

故障2：电动自行车电源锁一打开，熔断器就爆

现象描述：电动自行车打开电源锁，电动自行车会突然断电，多次更换熔断器，故障依旧。

原因分析：引起熔断器爆断的主要原因如下：

1）电动机内部绕组受潮或绕组接地。

2）控制器内部组件异常。

3）电源电路某处接地。

4）扬声器、转向等信号或照明电路的电源线接地。

5）熔断器选择额定电流过小，达不到20A。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）先检查熔断器的额定电流是否大于20A，若不是应予以更换。

2）断开控制器的电源输入插接器，打开电源锁，如熔断器不再熔断，则说明故障在电动机、控制器或电动机控制线路。如断开控制器的电源输入插头后熔断器不再熔断，则说明扬声器、转向等信号或照明电路某处短路。如不论断开控制器的电源输入插头与否，熔断器都会熔断，则说明电源线路某处短路。

3）如故障源在扬声器、转向等信号或照明电路，应首先检查该线路有无错接，而后用排除法，即可找到接地点并予以修复。

4）如电源线路某处短路，应首先检查电源锁或蓄电池接线有无

接错。如有，应予以调整。

5）如控制器短路，应予以检修或更换。

6）将电动机脱离电路，用绝缘电阻表或万用表检测电动机 3 根主相线的对地电阻应大于 2 ~ 5MΩ。如电阻较小，则说明绕组接地，找出接地点予以排除。如电阻较大而小于 2MΩ，则说明绕组绝缘电阻下降，应拆机对绕组进行烘干。如其绝缘电阻还较小，应更换全部绕组或更换整体电动机。

故障 3：电源指示灯不亮

现象描述：打开电动自行车的电门锁，面板电源指示灯不亮。

原因分析：引起面板电源指示灯不亮的主要原因如下：

1）蓄电池损坏。

2）电缆接插头与插座接触不良。

3）蓄电池插座下的熔断器熔断。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）用万用表测量蓄电池的输出端电压，正常时应有 24V（或 36V）电压，若无，则说明蓄电池已损坏，应更换蓄电池。

2）检查电缆插头与插座之间是否接触良好，可拔下插头，清洁后重新插紧，一般可以排除故障。

3）可取下熔断器进行检测，该熔断器的额定电流为 15A，若烧坏，则应更换同规格的熔断器。

故障 4：尾灯不亮

现象描述：电动自行车在正常行驶时，尾灯不亮。

原因分析：引起电动自行车尾灯不亮的主要原因如下：

1）灯泡、灯座或灯线有问题。

2）断电开关接插头脱落。

3）控制器插头负极线脱落。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）可取下灯泡进行观察，如灯丝断，则应更换新灯泡。若灯

泡正常，再检查灯座是否接触不良、灯线焊点是否脱落，若灯座锈蚀应用砂纸打磨干净，使之接触良好。若灯丝焊点脱落，应重焊。

2）检查断电开关接插头是否脱落（对于豪华型制动灯，断电开关接插头脱落，电动机将不断电），只要将插头重新插上即可。

3）控制器负极插头线脱落或接触不良时，尾灯会出现不亮的情况，可直观进行检查，如脱落或接触不良，应进行修复。

4）可用万用表测量控制器负极连线电压是否正常，若断路则应进行修复或更换控制器。

5）电源开关为三线开关锁，黄色线为制动灯线。可用万用表测量黄色线是否有电压输出，若无，应修复或更换开关锁。

6）对于前照灯与尾灯同时亮的电动自行车，当前照灯开关损坏时也会使尾灯不亮，可用万用表进行检测，如果损坏，则应更换。

故障5：前照灯不亮

现象描述：车辆行驶正常，但前照灯不亮。

原因分析：引起电动自行车前照灯不亮的主要原因如下：

1）灯泡烧坏；

2）灯座接触不良；

3）把座开关损坏。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）取下灯泡直观检查，若烧坏，则应更换灯泡。

2）取下灯泡，检查灯座是否氧化而造成接触不良，焊点是否脱落，连接线是否断裂。首先应用砂纸打磨灯座触头，若仍然不亮，再检查连线的焊点，若焊点脱落则应进行重焊。

3）用万用表测量把座的前照灯开关是否有电压输出，若无电压输出，说明把座开关已损坏，应更换把座开关。

第6章 电动自行车电动机常见故障速修要点与技巧

6.1 电动机的检测

电动机故障有机械故障和电气故障，比较而言，机械故障比较容易发现和修复，而电气故障则应通过检测其电压或电流才能进行诊断。

6.1.1 电动机的一般性检测

电动自行车用直流电动机的检测主要着重于性能方面，检测中发现问题，再进一步检测绕组、换向器、轴承以及转子、电枢中心偏斜率、气隙等。

电动自行车电动机一般性检测的内容主要有以下几个方面：

1）检查电源连接是否正确。

2）检查换向器是否偏心，电刷与换向器的接触面积是否正常。正常时换向器应占电刷截面积的75%以上，否则会造成接触不良而打火。

3）检查电刷的弹力是否适当，电刷与刷握的装配是否正确。若弹力不够或位置不正确，均会造成电刷打火现象。

4）检查绕组绝缘电阻是否合格。电动机的绝缘电阻一般在冷态（室温时）下进行检测，再换算成热态（75℃时），能满足要求即算合格，正常绝缘电阻在热态下应低于5MΩ。

6.1.2 电动机正常与否的快速检测

电动机正常与否的快速检测方法如下：

1）电动机空转时，听是否有杂音。

2）不通电，电动机线不相连时，转动电动机是否轻松。

3）断开有刷电动机的引线，用万用表欧姆档测量是否相通。

4）无刷电动机不通电，用手扳动电动机，看是不是阻力较大（应该在任意两根电动机线相连时操作）。

5）用万用表检查无刷电动机的3个霍尔元件是否阻值正常。

6）用万用表检查无刷电动机的3根线是否短路或开路。

7）无刷电动机在转动时，用万用表检查霍尔元件是否换相变值。

6.2 电动机故障的检修思路

本节，我们具体来了解有刷电动机和无刷电动机故障的多发现象及检修思路。

6.2.1 有刷电动机故障的检修思路

有刷电动机的故障主要有不起动、运转失常、过快、过慢、异响声、火花等。故障容易出现的部位是电刷、换向器、绕组、刷握、弹簧、有齿轮传动的齿轮减速系统、磁钢和轴承等。

1. 不起动

有刷电动机不起动的主要原因是开路。它有绕组开路、绕组与换向器间开路、电刷导线脱落、弹簧失效以及电刷或换向器磨损等。具体检修方法如下：

（1）绕组开路

用万用表检测换向器相对的两个铜片，若与其他部位电阻不同，说明换向片有故障。可用一支表笔固定不动，另一支表笔左右移动。若指针读数有变化，说明这个铜片所接的线圈断开；若无论如何移动，阻值总是较大，则说明另一支表笔接触的换向片开路。

（2）绕组与换向器铜片开焊

其故障现象是运行中与绕组开路相同，检查时可用竹针拨动线圈端头与铜片的焊点部位，开焊或虚焊处有活动迹象或立即分离，只要重新焊接即可。若是线圈开路，而且在绕组内部，不好修复。若只有一两个断点，可以在换向片处给以短路连接；若断点较多，只能更换绕组。

（3）少数线圈断开

有时一两个线圈断开并不影响运行，只是速度和转矩下降，性能不稳。随着断开的线圈增多，电动机便无法启动。

2. 换向器问题

异响声与弹簧过硬、电刷磨损、换向器片间绝缘片鼓出及电枢有突出物等有关，检查并更换损坏的元器件，故障即可排除。

3. 短路

电动机短路的主要原因有绕组的线圈短路，换向器的铜片之间短路。两者的不同点是绕组短路表现为电流大，运行时火花较大。

查找短路的方法如下：

（1）绕组线路短路

绕组线路短路的查找方法有以下两种：

1）对线圈圈数少、阻值小的绕组，用万用表检测换向器的电阻，将电动机接 6V 交变电源，以产生感应电动势，表笔检测相邻两个铜片间的电压，沿一个方向逐步移动。当测至相邻两铜片间电压异常地变低（与其他不同），说明与表笔连接的线圈就是短路点。

2）绕组使用细线且匝数较多、电阻值大的可用万用表检测。检测方法如下：

① 当绕组为波形绕法时，可以不打开电动机，将测笔接在电刷引线上，慢慢转动电枢，正常情况下所测电阻值应当一致。若发现某点异常，说明电刷接触的两个换向片就是短（开）路点。

② 当绕组为叠绕时，一般节距为 1。可用万用表两表笔检测相邻两换向片间电阻，发现异常即确定为短（开）路点。

（2）换向片短路

短路点在绕组外围容易处理，若在绕组内部则应视情况，重绕线圈或更换新电枢。

换向片短路主要是由于换向片之间绝缘槽内积存磨损下来的炭粉、铜屑，经反复运转压成密实的导电体，将相邻换向片短路。可用毛刷将换向器表面周围的炭粉清理干净，用一片与换向片间隔宽度相同的刮刀或钢锯条，仔细将槽内积存的炭粉积块刮除，一边刮一边用毛刷清理。对短路部分刮除后，再进行测试，直至所有短路部分解除

为止。

这里要注意的是，换向片与绕组的线圈是相连的，不焊开该点线圈，无法用万用表得出准确结果。无论是预先检测还是修整之后的检测，都应在与线圈断开的状态下进行。处理完成之后，还要将断开点原来的换向片重新焊接起来，恢复原状。

4. 换向片接地

换向片与轴是绝缘的，绕组线圈与电枢铁心也是绝缘的，若发生异常，造成接地，电动机将不能正常运转。

排除方法是将万用表的一支表笔固定在轴（轮毂电动机则固定外壳上）上；另一支表笔轮流测试每个换向片，电阻值最小的一个就是短路点。

5. 电刷磨损

如果电动机有时电刷过软，有时进入硬杂物会造成两者磨损。磨损后发生火花，消耗电能，功率降低，有时甚至运行不稳。

电刷磨损达到原设计长度的一半、接触面积小于总面积的75%，就应当修理或更换。更换时不仅要注意电刷尺寸，还要选好硬度，否则换向片会很快被磨损，而更换换向片是比较麻烦的。电刷在更换前应当预磨一下，使电刷与换向片的接触比较吻合，减少电耗和换向片磨损。

6. 换向片磨损

电动机换向器有布成平面的圆盘形和布在轴周围的圆柱形的两种形式。形式不同，处理的方法也不相同。

换向片磨损与电刷磨损的后果相同，但换向片修理比电刷磨合难度更大。磨损不严重的可用粗细砂纸磨平砂光继续使用。不管是圆柱形换向器还是平面形换向器，磨合都要正规合格，达到平、光、圆的要求。磨损严重的则应更换用新的电枢。

按规定，换向片间绝缘层应比换向片低0.5~1mm，如果不符，就应当修整。修整的方法是用刮刀或钢锯条顺绝缘槽的方向进行锯割，直至绝缘云母低于换向片0.5~1mm为止。

6.2.2 无刷电动机故障的检修思路

无刷电动机的磁钢、绕组、霍尔器件和轴承等容易出现故障。无

刷电动机不存在换向器故障，除霍尔传感器外，其他故障与有刷电动机基本相同。

1. 电动机通电后反应，但不转动

判断无刷电动机是否有故障，最简单的办法是将无刷电动机 3 根电源线并在一起短路，之后用手转动电动机：很费劲或转不动，说明电动机完好；若是 3 根线短路后能够转动或转动轻松自如，说明故障在绕组，要经过测定检查判断。

2. 霍尔传感器故障

霍尔传感器又称位置传感器，其故障主要是引线断开、传感器脱落、霍尔集成电路失效等。

（1）引线断开

引线断开，重新焊接。如果引线是在集成电路齐根处断开，只有更换。

（2）传感器脱落

传感器一般都固定在电枢有引出线一端靠近磁钢的地方，若有脱落可用树脂将霍尔集成电路再次牢固粘贴在原来的地方即可。

（3）霍尔集成电路失效

应先分清是电路内部还是工作电源故障，需要通过测定引脚电压来断定。具体测定方法如下：

霍尔集成电路一般有 3 只引脚：一个是电源正极，另一个是接地，第三个是状态输出引脚。只要确定了正极和接地极，剩下最后一个引脚就是输出引脚。

打开控制器电源，使霍尔集成电路处于工作状态，找一块场强较高的磁钢，反复用 N、S 极接近传感器，用毫安表或信号测定仪测定输出极与地间信号的变化。它的信号简单，只有“有”和“无”两种，即 1 和 0。S 极接近时有信号 1（+），对锁存型霍尔集成电路，可以一直保存固定信号状态，直至用 N 极接近后信号才变为 0（－），这是正常的。

若用 S 极或 N 极接近都没有任何信号，可确定霍尔集成电路失效，应当更换新的。有信号实际是高电平有电压输出，输出电压 5 ~ 6V 以上。无信号输出时，无电压输出。

另外可能是无电源，检测电源和接地间应有4.5V以上电压，否则，说明电源有故障。

这里要注意的是，更换新霍尔集成电路时应和原集成电路类型一致、型号一致，正反面方向也应当一致，以防引脚顺序搞错。

霍尔集成电路是矩形片，其中有一个角是缺角，焊开前只要认清缺角方向即可；另外，它的3根引线的颜色不一样，预先将颜色的顺序记清，再焊接时就不会错误。

3. 磁钢脱落

磁钢不能随意摔打和磕碰，以防意外退磁；也不应当长时间使磁钢处于开放状态，应尽快处理并将电枢送回外壳内，使磁钢形成闭合回路，否则，也会造成磁钢退磁。

磁钢脱落后，车轮每转一周，就会出现一次金属摩擦声，但这对运行影响不大，只是速度减慢，耗电增大，但应及时进行修复。其修复方法如下：

外磁转子内的磁钢N、S极是交替分布的（是弧形薄片），不用辨别反正，只需辨别方向，按照原来做好的标记，粘贴时与其他磁钢平齐一致，不突出或错位，以保证电动机的气隙和机械尺寸不受影响。

在磁钢粘贴好并等待彻底硬结之前，最好将电枢暂时装入外壳内。

电动机的有些故障与控制器有密切关系，分析故障时，不能只局限在电动机本身上，还有电源问题、线路问题等，比如，调速手柄中的霍尔元件、磁钢也会脱落，霍尔元件线路断开等。

4. 调速手柄故障

电动机不转的主要原因是调速手柄内的磁钢或霍尔元件脱落、霍尔元件线路断开。这类故障比电动机内部的故障多，而且经常没有任何手感或声音异常，在电动机控制异常情况下，应当考虑调速手柄故障。它不属于电动机故障，但经常与电动机故障查找联系在一起。具体排除方法如下：

1）首先将手柄与控制器间的插接件拔下。

2）将手柄固定螺钉拧松，将手柄从车把上退下来。

3）旋开转把自身螺钉卸下把套，卸时应记住把套内部件的位置，尤其是复位弹簧的位置。

4）检查磁钢和霍尔器件是否脱落和移位。

5）若有脱落，可用树脂粘贴牢固，如果没有任何变化，可原封装回。

6）断线是极易发生的，将断线重新连接即可，但要注意线的长度不能影响与控制器相接。

如果线是从霍尔元件的根部断开，必须换一个同型号的霍尔元件。在粘接新元件前，注意缺角方位应与原来一致，3 根引线按原来顺序焊进插接件上。

6.3　常见电动机故障的检修举例

我们知道，电动机有无刷电动机和有刷电动机之分，各型号的无刷电动机和各型号的有刷电动机结构及工作原理大体相同，其出现故障的原因及分析方法也大体相似。因此，我们下面所讲到的各类无刷电动机故障现象适用于所有无刷电动机，各类有刷电动机的故障现象则适用于所有有刷电动机。

故障 1：仪表显示正常，无刷电动机不工作

现象描述：电动自行车接通电源锁，仪表显示正常，转向灯和前照灯也能正常工作，但电动自行车不能转动。

原因分析：引起无刷电动机不转常见的故障原因如下：

1）调速转把损坏。

2）电动机损坏。

3）控制器故障。

4）制动开关故障。

5）线路某处连接松动。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）在调速转把电源线为 4.5V 的情况下，打开电源锁，用万用表直流电压档，黑表笔接地，红表笔接调速转把调速信号线（一般

为黄色）。缓缓转动调速转把，注意万用表读数，按0～4.5V顺序变化则为正常。如出现长期高电平（4.5V）或长期低电平为零，则说明调速转把有故障。若万用表读数为零，则检查调速转把信号线是否断线，如断线，应重新装好。

2）接通电源锁，用万用表电压档测量电动机与控制器相连接的电动机主相线（即较粗的蓝、黄、绿色线）有无电压。如无电压，则说明控制器及其相关联的线路或组件（调速转把、制动开关）有故障；如有正常的电压，则说明电动机异常。

3）打开电源锁，万用表直流电压档，测量控制器的输入电压（蓄电池与控制器相连的红色线）应为36V（或蓄电池的端电压），输出电压应为5V左右（即控制器与制动开关或与调速转把相连的红线输出电压）。如无36V的输入电压，则说明蓄电池到控制器间的线路断开或接触不良，应予以修整。如控制器有约5V的输出电压，则说明控制器内部信号电源正常；如无约5V的输出电压，则说明控制器内部信号电源异常，应对控制器工作电源进行检查。检查项目是，控制器的连接线是否磨损，插接器是否松动，元器件在低温或高温下是否发生参数漂移，控制器内部是否有短路或开路现象，控制器电路板是否脱焊或虚焊，或功率组件是否损坏或质量是否过差或选用等级是否不妥当。

4）将控制器的制动开关插头拔下，打开电源锁转动调速转把，如电动机正常转动，说明制动开关损坏，应予以更换。

5）将电动机和控制器相连接主相线（即较粗的蓝、黄、绿色线）从插接器处拔下。其余线接好，慢慢转动后轮，用万用表电压档测量霍尔信号线与接地线间的电压。如某相电压无变化，则说明该相的电动机霍尔组件损坏或与该霍尔有关联的线路有异常，导致电动机断相。应检查电动机霍尔组件、插接器及与其相连的线路。

电动机霍尔组件常见故障有引线断开、霍尔组件内部集成电路失效等。

如霍尔组件引线断开，应焊牢。如在霍尔组件齐根处断裂，应更换霍尔组件。霍尔组件的故障检修方法是：将电动机与控制器相连接的导线脱开（即从插接器处），在电动机侧用万用表欧姆档测量3个

霍尔组件。具体操作方法是，将万用表黑表笔接黑色线（即霍尔地线），红表笔分别接绿色线、蓝色线、黄色线（霍尔组件信号线），3 线电阻应基本一致，如其中 1 线电阻过大或过小，则说明与该线相连的霍尔组件有故障。然后将黑、红表笔对调后，再分别测量 3 线阻值，也应基本一致，如某 1 线阻值与其他 2 线不一致，则说明与该线相连接的霍尔组件损坏，应予以更换。

故障 2：电动自行车电动机过热

现象描述：电动机过热是指电动机在工作时其端盖的温度超过环境温度 25℃以上时，说明电动机的温升已经超出了正常范围。一般电动机的温升在 20℃以下。

原因分析：引起电动机过热的常见的故障原因如下：

1）电源电压过高或过低。

2）电枢绕组匝间短路。

3）气隙偏心。

4）铁心短路。

5）定子转子铁心相摩擦。

故障检修：电动机过热最直接的原因是电动机的电流过大，对此，可按以下方法进行检修。

由于电流增大，说明电阻或感应电动势减小。电阻变小一般是由于绕组短路或开路，而感应电动势减小是由于磁钢退磁或绕组短路、开路造成的。

排除方法是：调整电源电压至标准值；查找磁电流过大或过小的原因，并进行相应的处理；查找短路点，局部修复或更换绕组；局部修理或更换铁心；校正转轴，更换轴承等。

经上述检查修理后，故障依旧，则需更换电动机。

故障 3：电动自行车有刷电动机不能起动

现象描述：有刷电动机不能起动。

原因分析：引起有刷电动机不能起动常见的故障原因如下：

1）电枢电路开路。

2）起动电阻连接错误。

3）电枢绕组匝间短路。

4）换向片间短路。

5）电刷研磨不良，电刷压力过小。

6）电刷位置移动。

7）转子焊接点脱焊。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）查找短路点或接地点，局部修复或更换。

2）重新连接起动电阻。

3）查找开路点或短路点，局部修理或更换绕组。

4）查找换向片间的短路点，局部修理或更换换向片。

5）重新研磨电刷弹片的压力。

6）调整电刷位置。

7）查找脱焊点，并重新焊接。

故障 4：无刷电动机空载电流过大

现象描述：电动自行车使用一段时间后，感觉行驶无力，不能达到最大行驶里程；检测电动机时，发现空载电流过大。

原因分析：引起无刷电动机空载电流过大常见的故障原因如下：

1）因轴承损坏或长期缺油，导致电动机运转阻力过大，使空载电流增大。

2）电动机磁钢脱落或失磁。

3）电动机绕组局部短路。

4）电动机内部绕组过于潮湿。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查轴承转动是否灵活。用手转动轴承，并使之以最大速度转动，若轴承转动阻力较大或有“咯噔”或“哗啦”的响声，则表明轴承损坏，应予以更换。

2）检查电动机磁钢是否脱落，若是，应粘接，但要保证电动机转子与定子的气隙达标。若磁钢有碎片或磁钢严重失磁，应更换磁钢或电动机。

3）测量绕组短路故障。该电动机绕组常采用Y联结。检测方法是，如图 6-1 所示，用万用表的欧姆档测量电动机三相绕组中每两相间的电阻值（三相绕组编号为 A、B、C），正常情况下应相同或相差很少。若所测 AB 和 AC 两相间的电阻都较 BC 相小，则表明 A 相绕组短路；若所测 BC 相电阻较大，而 AC 和 AB 相电阻较小，也表明 A 相绕组短路。

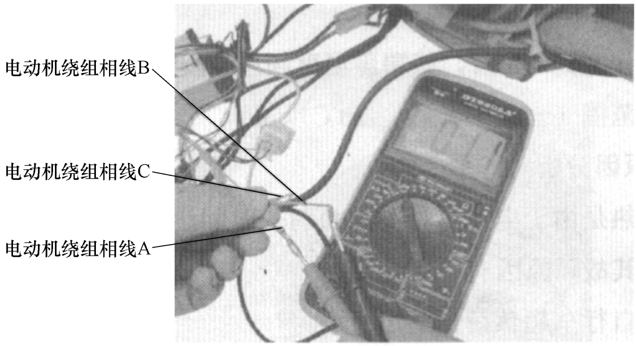


图 6-1　测量绕组短路的故障

对于短路的绕组，应按原来的线径、匝数和绕制方法等重新绕制，或将故障电动机予以更换。

4）用手触摸定子绕组，若感觉潮湿，则表明定子绕组有绝缘短路现象。电动机潮湿不仅会引起绕组绝缘电阻下降，甚至会导致绕组轻微接地，应对绕组进行烘干处理。

故障 5：有刷电动机噪声大或有异常响声

现象描述： 电动机在转动过程中噪声大或有异常响声。

原因分析： 目前，电动自行车除无刷电动机之外，95% 以上的电动机在运行中都存在一定的噪声。其噪声来源于两个方面：其一是有刷电动机的电刷在换向器上摩擦产生的声音，其二是高速电动机减速齿轮啮合的声音。前者的频率较高，后者较低。低速有刷电动机消除了减速齿轮的啮合声音，但输出转矩较小。低速无刷电动机消除了减速齿轮的啮合噪声和电刷与换向器之间的摩擦噪声，同时该电动机的

输出转矩也较大。目前电动自行车上广泛采用的是低速无刷电动机。

有刷电动机噪声大或有异常响声，是指电动自行车在行驶中表现出来的较大噪声，其常见的故障原因如下：

1）控制器异常或控制器输入信号极性相反，导致通电骑行时电动机发出有节律的“咯啦”声且振动较大，关断电源骑行时正常。

2）电动机轴承润滑不良而使内、外圈与钢珠的配合间隙过大（即轴承间隙大），导致电动机转动时发出“哗啦、哗啦”的响声。

3）电动机磁钢松动。

4）电动机扫膛时，使电动机在转动过程中定子与转子发出有节奏的撞击声。

5）换向器表面因氧化、烧蚀而不平，当电刷在换向器上作摩擦运动时便发出杂乱的噪声。

6）换向片松动时与电刷高速碰撞发出有节律的声音。

7）电刷松动或电刷架位置不正，都可能导致有刷电动机发出异常响声。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）用一只良好的同型号控制器换上去，若异常响声消失，则表明原控制器异常。

2）检查电动机轴承间隙是否过大。若是，应予以更换。

3）检查电动机磁钢是否松动。若松动，应粘接磁钢。

4）若电动机转子扫膛，则应重新修复转子和定子。若无法修复，应予以更换。

5）检查有刷电动机的换向片表面是否氧化、烧蚀。若是，应用刮刀除去换向器间的异物。再用细砂纸打磨换向片表面的氧化物，以使换向器表面光滑。

6）检查换向器上的换向片是否松动。若松动，应焊牢换向片。

7）检查电刷在电刷架内是否移动灵活，或电刷架是否偏歪。若是，应加以修正。

8）检查电动机内部是否轴向窜动。若窜动，应在轴向位置增加合适的垫片。

故障 6：无刷电动机噪声大或有异常响声

现象描述：无刷电动机转动时噪声大或有异常响声。

原因分析：无刷电动机由于省去了电刷和换向器等部件，故正常工作时，无刷电动机的噪声较小。若无刷电动机有异常响声，则表明无刷电动机存在故障隐患，应予以检修。

引起无刷电动机发出异常响声常见的故障原因如下：

1）控制器损坏或控制器输入信号极性相反，导致电动机运行时发出有节律的“咯啦”声，并伴随有振动现象。

2）电动机轴承因损坏而发出“哗啦”的噪声。

3）电动机磁钢失磁或移位。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）将电动机与控制器相连的霍尔元件引线拆开，用万用表的黑表笔接霍尔元件的接地线，红表笔分别接霍尔元件的相线（即接霍尔元件的蓝色线、绿色线、红色线）。按图 6-2 所示方法测量电阻，若所测某一相的阻值比其他两相阻值大或小，则表明与该线相连接的霍尔元件损坏；若所测各相阻值基本相同，再将黑表笔接霍尔元件的电源线，红表笔分别接霍尔元件的相线，测量其间的阻值；若某一相所测阻值比其他两相大或小，则表明与该线相连接的霍尔元件损坏。

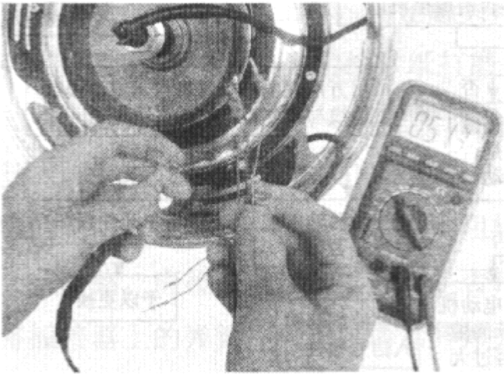


图 6-2　霍尔元件好坏的测量

检查出有故障的霍尔元件后，应予以更换。

2）将一良好的同型号控制器换上去，若异常响声消失，则表明控制器异常，应检查控制器电路板，主要检查电路板是否出现虚焊、接触不良或元器件损坏等现象。检测到故障源后，修复即可。

3）检查控制器输入信号的极性。检查是否由于安装有低有效和高有效的传感器而引起信号角度变为60°（一般是120°）。若是，应予以调整。

4）检查电动机轴承间隙是否过大。若是，应予以更换。

5）若电动机转子扫膛，则应重新修复转子和定子。若无法修复，应予以更换。

6）检查电动机磁钢是否松动。若松动，应粘接磁钢。

7）检查电动机内部是否轴向窜动。若窜动，应在轴向位置增加合适的垫片予以调整。

故障7：无刷电动机时转时停

现象描述：打开电源开关，电动机时转时停，功率下降。

原因分析：引起无刷电动机时转时停常见的故障原因如下：

1）蓄电池电量不足，处于欠电压保护状态。

2）蓄电池盒电极接线柱因接触不良而烧蚀，使电路时通时断。

3）熔断器与其座间接触不良，使电路时通时断。

4）调速转把引线接触不良。

5）调速转把内的感光管或感光片上有异物。当转动调速转把时，调速信号时有时无或时大时小，流入电动机内的电流也会时大时小。

6）制动开关是常开触头，若制动开关触头接触不良，当制动开关瞬间接通时，通过电动机的电流会时有时无或时大时小。

7）电源开关长期使用或受雨淋，导致电源开关的触头烧蚀。

8）控制器内部电路板因某元器件焊接不牢或虚焊、脱焊，导致控制器工作失调或欠电压控制电路的欠电压值调得过高。

9）线路插件或接线头处接触不良。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查蓄电池电量是否充足，否则，应给蓄电池充电。

2）检查蓄电池上的电极是否锈蚀或松动。若锈蚀，应打磨触头或调整触头位置并加以固定，同时在触头接触处涂上凡士林，防止触头再次氧化。

3）若熔断器与熔断器座间有锈蚀处，则用细砂纸打磨锈蚀处；若熔断器座上的弹簧夹弹力减弱，应增加其弹力。

4）检查调速转把引线的插接器接触是否良好。方法是用万用表欧姆档测量插接器输出线和输入线的阻值，正常时应接近零。若阻值较大或为无穷大，则表明插接器接触电阻过大或断路，应检查插接器接触片是否锈蚀，若锈蚀，应打磨或用硬度较大的镊子将插接器上的弹簧片夹起以增加其弹力。

5）拆下调速转把，检查其感光片和感光管上有无污垢。若有，应清洁或更换感光片或感光管；若故障还不能排除，应更换调速转把。

6）将制动开关引线脱离电路，打开电源开关，若电动机工作正常，则表明制动开关异常，应对制动开关进行修理或予以更换。

7）如图 6-3 所示，用万用表表笔短接电源开关，转动调速转把，若电动机强劲有力，则表明电源开关有故障，应予以更换。

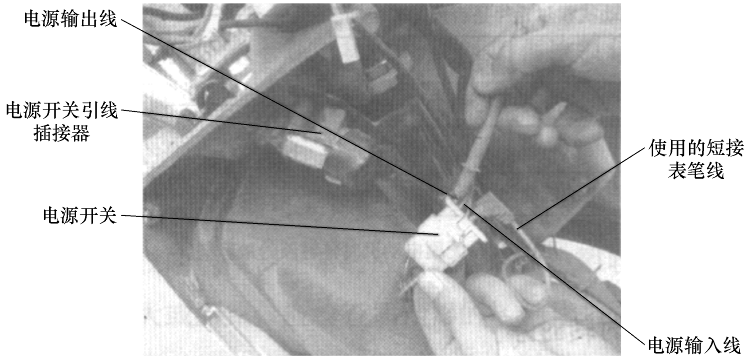


图 6-3　短接电源开关

8）对控制器电路板进行直观检查，如印制电路板是否断裂，元器件焊接处是否存在脱焊或虚焊，然后检查欠电压控制电路中的基本

元器件是否损坏等。若发现异常，应予以修复或更换。

9）检查电动机绕组或霍尔元件的连接是否松动。若是，应进行修复。

故障8：有刷电动机时转时停

现象描述：有刷电动机转动时忽高忽低或时转时停。

原因分析：引起有刷电动机时转时停常见的故障原因如下：

1）蓄电池电量不足，处于欠电压状态，向电动机输出时有时无的电流。

2）蓄电池盒内的极柱与其引线因松动或锈蚀而导致接触不良。

3）蓄电池盒内的熔断器与其座接触不良，使电路时通时断。

4）调速转把内的感光管或感光片上有异物，转动调速转把时，调速信号时有时无或时大时小，流入电动机内的电流时大时小。

5）电源开关触头接触不良。

6）制动断电开关触头接触不良（时通时断），使电动机绕组内的电流间断。

7）控制器内部某元器件焊接不牢或虚焊、脱焊，或某元器件内部接触不良，导致控制器工作失调，或控制器欠电压控制电路的欠电压值调得过高。

8）线路插件、接头处松动或接触不良。

9）换向器表面烧蚀、污损，导致电刷与换向器接触不良。

10）电刷弹簧弹力减弱或电刷严重磨损，导致电刷与换向器接触不良。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查蓄电池电量是否充足，若不足，应给蓄电池充电。

2）检查蓄电池盒电极是否锈蚀或松动。若锈蚀，应打磨触头或调整触头位置并加固，同时在触头接触处涂上凡士林，防止触头再次氧化。

3）若熔断器与熔断器座间有锈蚀处，可用细砂纸打磨锈蚀处；若熔断器座上的弹簧夹弹力减弱，应增大其弹力。

4）检查调速转把引线的插接器接触是否良好。具体方法是：用

万用表欧姆档测量插接器输出线和输入线的阻值，正常时应接近零。若阻值较大或为无穷大，则表明插接器接触电阻过大或断路，应检查插接器的接触片是否锈蚀；若锈蚀，应打磨或应用硬度较大的镊子将插接器上的弹簧片夹起以增加其弹力。

5）拆下调速转把，检查其感光片和感光管上有无污垢。若有，应清洁或更换感光片或感光管；若故障还不能排除，就更换调速转把。

6）将制动开关拆下（即脱离电路），打开电源开关，若电动机工作正常，则表明制动开关异常，应对制动开关进行修理或予以更换。

7）短接电源开关，转动调速转把，若电动机强劲有力，则表明电源开关故障，应予以更换。

8）对控制器电路板进行直观检查，如图 6-4 所示。检查印制电路板是否断裂，元器件焊接处是否脱焊或虚焊，然后检查欠电压控制电路中的基本元器件是否损坏等。若发现异常，应予以修复或更换。

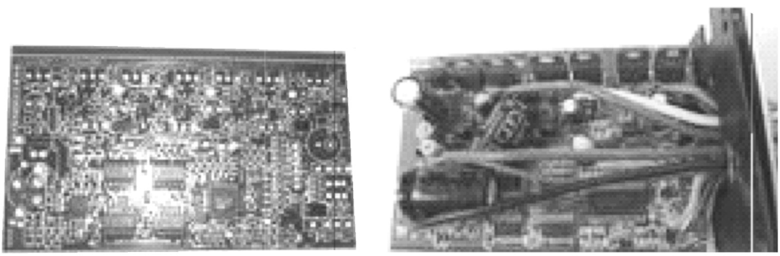


图 6-4　控制器电路板的检查

故障 9：无刷电动机转动缓慢

现象描述：打开电动自行车电源开关，骑行试验，电动机转动缓慢，不如从前。

原因分析：引起电动机转动缓慢常见的故障原因如下：

1）蓄电池电量不足。

2）电动机绕组中某处有短路现象，导致电动机转矩减小。

3）调速转把上的感光片、感光管上有污垢，导致调速转把失灵，使电动机动力不足；调速转把内的元器件局部损坏。

4）控制器损坏，导致输入电动机内的电流减小，电动机输出动力下降。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查蓄电池电压是否充足。若电压不足，应进行补充充电。

2）检查调速转把上的感光片和感光管有无污垢。若有污垢，应对感光片和感光管进行清洁，必要时予以更换。

3）检查调速转把内的元器件，若有损坏，应予以更换。

4）用同型号控制器代替怀疑有故障的控制器，若电动机转速正常，则表明原控制器异常。判断控制器故障也可做以下试验：使电动机以最高转速运动，用万用表电压档测量控制器的输出电压，若所测电压与蓄电池端电压一致，则表明电动机有故障；若控制器输出电压低于蓄电池电压过多，则为控制器故障。

5）用万用表测量电动机三相绕组中每两相间的电阻，即可判断绕组是否短路、断路或接触不良。若有以上故障，应更换损坏的绕组或全部绕组，必要时更换电动机。

故障10：有刷电动机转动缓慢

现象描述：打开电动自行车电源开关，电动机转速缓慢，驱动力矩较小。

原因分析：引起有刷电动机转动缓慢常见的故障原因如下：

1）蓄电池电量不足，控制器欠电压保护，致使通过电动机绕组的电流时大时小。

2）电动机故障：电动机绕组断路，输出转矩大大减小；换向器与电刷接触不良而产生火花；换向片接地，使电动机不能正常运转；电刷磨损、弹簧压力减弱，绕组内的电流减小而输出无力；电动机磁钢脱落；电动机绕组短路。

3）控制器故障，导致输入电动机绕组的电流减小。

4）调速转把上的感光片和感光管上有污垢，使电动机调速

失灵。

5）制动开关性能不良。

6）电刷磨损。

7）换向片磨损。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查蓄电池电量，若电量不足，应充电。

2）电动机内部故障。

① 绕组与换向片开焊。如图 6-5 所示，用竹签拨动换向片接线处的绕组引线，若脱开或晃动，应重新焊接。

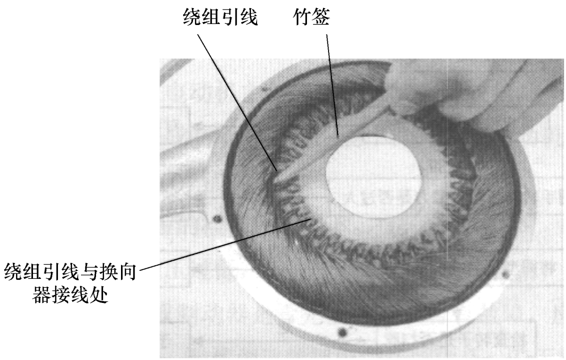


图 6-5　用竹签拨动换向片

② 换向片间短路。先用汽油清洗换向片，若换向片上有未被清除的烧蚀痕迹，可用细砂纸打磨，然后用刮刀刮去相邻换向片间的异物，以消除换向片间短路现象。

③ 绕组短路。绕组短路会使电动机功率下降，并容易使绕组产生过高的温升。

用万用表的直流电压档检测相邻换向片间的电压。对于完好的绕组，其相邻换向片间的电压应相同。如某相邻换向片间的电压明显降低，表明与这两个换向片直接相接的绕组严重短路，应更换或重新绕制。

3）打开电源开关，用万用表 10V 直流电压档测量调速转把中红色线的电压。若无 5V 电压，则表明控制器故障。若所测红色线对地

电压为5V，则用万用表测量调速转把的调速信号电压。边测量边转动调速转把，若万用表读数能在1～4.5V间发生变化，则表明调速转把无故障；否则，表明调速转把有故障，应分解调速转把，并清洁感光片和感光管上的污物。然后对调速信号进行测试，若调速信号正常，则表明故障排除；若所测调速信号异常，应更换调速转把。

4）将一新的同型号控制器换上去，打开电源开关，转动调速转把，若电动机恢复正常，则表明控制器有故障，应修理或更换。

5）依次将前、后制动开关脱离电路，打开电源开关，若电动机运转有力，则表明该制动开关损坏，应予以更换。

6）电刷在使用过程中会逐渐磨损。电刷长度不低于规定的磨损极限（新电刷长度的2/3）时，电刷与换向片的接触面积不应小于总面积的75%，否则应更换电刷。更换后的新电刷应经研磨才能使用。研磨方法是用“00”号砂布贴靠在换向器表面，砂面向外，装上电刷并放松弹簧，把电刷压在砂纸上，然后用手慢慢转动电枢轴，电刷即可磨成与换向器相同的圆弧状。

7）换向器与电刷处于滑动摩擦的工作状态，在长期工作中换向器会受到污损、烧蚀，也会因磨损而使云母突出，这些都会影响换向器的正常工作。

① 换向器工作表面上有污损物时，可用汽油和棉纱擦净。

② 换向器轻微烧蚀时，可用金相砂纸抛光。

③ 换向器严重烧蚀时，应进行磨合，以达到平、光等技术要求。

故障11：无刷电动自行车行驶距离缩短

现象描述：电动自行车充足电后，正常骑行时其续行里程严重缩短。

原因分析：引起电动自行车行驶里程缩短常见的故障原因如下：

1）蓄电池容量严重减少。

2）电动自行车行驶阻力较大，主要是由于制动器不能完全放松，轮胎气压过低或在不良道路上行驶。

3）电动机内部绕组短路或线路中某处接触不良。

4）充电器故障。即使是良好的蓄电池，用有故障的充电器充电也不能够充满。

5）控制器有故障，导致电动机主相绕组电流减小或断相。

6）调速转把、电源开关或制动开关等性能不良，导致电动机转矩减小。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

1）用良好的同型号充电器对该蓄电池进行充电，若电动自行车续行里程明显增加，则表明充电器有故障，应对充电器进行修理或予以更换。

2）检查轮胎气压。若气压过低，应充气；若轮胎气压正常，应支起主支架，检查前、后轮轴承是否损坏或制动器是否完全分离；若有故障，应予以排除。

3）将无刷电动机的 3 根主相线短接在一起，然后转动后轮，若转动阻力较大，则表明电动机正常；若阻力较小或转动较为轻松，则表明电动机绕组存在故障。对此，应根据情况予以排除。

4）将同型号控制器换上去，若电动机动力十足，加速性能好，则说明控制器有故障，应对控制器进行检修或予以更换。

5）用万用表直流电压档，测量调速转把电源线的电压。若无电压，则表明控制器损坏，应予以修理或更换；若有 5V 电压，应测量调速转把信号线电压。边测量边转动调速转把，若所测电压能在 1 ~ 4. 5V 间变动，则表明调速转把正常；若所测电压不能变动，则表明调速转把有故障，应予以修理或更换。

6）短接电源开关，若电动机强劲有力，则表明电源开关有故障，应予以更换。

7）分别将前、后制动开关脱离电路，转动调速转把，若电动机恢复正常，则表明制动开关有故障，应予以修理或更换。

故障 12：电动自行车行驶无力

现象描述：电动自行车行驶无力是指功率下降，加速性能和爬坡能力差。当电动自行车在阻力较大的道路上行驶时，可明显感到电动机转速降低，在平坦道路上行驶时达不到最高车速。

原因分析：引起电动自行车行驶无力常见的故障原因如下：

1）行车系统阻力过大：轮胎气压过低，导致轮胎与地面的摩擦力增大；闸把自由行程过小，导致制动蹄块与制动鼓分离间隙过小，使制动蹄块与制动鼓内表面接触产生制动力矩；制动凸轮转动不灵活，导致制动蹄块不能及时回位，而与制动鼓内表面接触产生制动力矩；轮毂上的滚珠轴承润滑不良或损坏，使车轮转动不灵活；轮毂的中间衬套漏装或偏短，造成拧紧轮轴上的螺母时轴承内环、滚珠、轴承外环和轮毂都参与传递轴向力，导致滚珠不能灵活转动，车轮也会转动无力。

2）调速转把有故障，即调速转把内感光片、感光管上有污垢或调速转把内部元器件局部损坏等。

3）电动机异常，应更换电动机。

4）控制器故障，应更换控制器。

5）蓄电池电量不足。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）将前、后车轮悬空，并用手转动车轮，若车轮转动灵活，则检查轮胎气压是否过低；若车轮转动不灵活，则检查制动闸把的自由行程是否过小，制动鼓盖上的凸轮转动是否灵活，车轮轮毂上的滚珠轴承是否润滑不良或损坏，轮毂的中间轴套是否漏装或偏短等。

2）用万用表直流电压档，测量调速信号线（绿线）的电压。当调速转把处于转速最大位置时，调速信号线的电压应为 4.2V。若小于该值，将导致电动机转速慢而且无力，应修理或更换调速转把。

3）将电动机与控制器间的连线断开，接好其余导线，然后慢慢转动电动机，用万用表直流电压 10V 档测量电动机 3 个霍尔元件的相线的电压变化情况。正常时每相电压应为 0V 或 5V，若其中一相无电压变化，则表明该电动机霍尔元件烧毁。若因此造成断相，应予以更换。

4）在调速转把和闸把开关正常时，用万用表直流电压档测量控制器的输入电压，正常时应为蓄电池的端电压，若无电压或电压较

低，则表明输入线有故障，应予以检查。用万用表直流电压档测量控制器输出线（红线）的对地电压，若接近 5V，表明控制器正常；若控制器的输出电压远小于 5V，则表明控制器有故障。

5）打开电源开关，骑行加速，若万用表显示数值大于蓄电池额定电压，则表明蓄电池电量充足，否则应充电。

故障 13：电动自行车电动机转速不受调速转把控制

现象描述：打开电源开关，调速转把不论转到什么位置，电动机都是以恒速转动，握下闸把时电动机能停转。

原因分析：引起上述故障的原因有以下几点：

1）调速转把损坏或调速转把与控制器的连线有问题。

2）控制器有故障。

3）电动机损坏。

故障检修：经检查发现调速转把上的 5V 电源电压正常，调速转把到控制器上的控制电压在 2.8V 左右，变化不大。检查调速转把的控制信号线，无异常，则判断为调速转把损坏。更换一只新调速转把后，通电试验，故障排除。

故障 14：电动车出现飞车现象，握下制动闸把时飞车现象停止

现象描述：电动车打开电源开关后，电动机就飞速旋转，握下制动闸把时，电动机停止转动。

原因分析：引起上述故障的原因一般有以下几点：

1）调速转把损坏，导致其输出信号电压偏高。

2）调速转把与控制器之间的连线异常。

3）控制器内部元器件损坏。

4）调速转把接地线断路。

故障检修：关闭电源开关，拔下调速转把与控制器的连接插头，如图 6-6 所示。

打开电源开关，车轮不转动，表明控制器正常，故障出现在调速转把及其电路上。更换一只同型号的调速转把并插上调速转把与控制

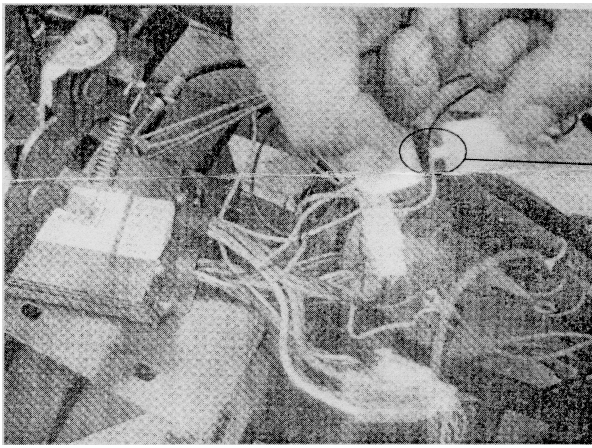


图 6-6　从控制器连接插头处拔下调整转把引线

器的连接插头，打开电源开关，车轮仍然飞速旋转。这时，用万用表测得调速转把电源电压和输出控制信号电压都为 5V，霍尔元件接地线的对地电压为 1.3V，表明调速转把接地线断路。最后，拔下调速转把与控制器间的插接器，发现其触头和弹簧片严重锈蚀。用什锦锉或砂纸打磨锈蚀处后，重新插上插接器，打开电源稳压模块及限流电阻时发现其均已损坏。更换损坏的元器件后，加电试验，一切正常。

第 7 章　电动自行车蓄电池常见故障速修要点与技巧

7.1　蓄电池的检测

我们在前文“蓄电池正常与否的判断”部分了解了蓄电池的简单外观判断方法。这里，我们对蓄电池的故障的检测方法做具体的了解。

7.1.1　蓄电池故障的检测

电动自行车主要部件中，蓄电池的故障较为高发。蓄电池检测的内容主要如下：

1）电压检测；

2）蓄电池溢流阀的检查；

3）蓄电池内部检查；

4）蓄电池气密封性检查；

5）蓄电池容量检查。

具体检测方法如下：

1）检测电压。先检测蓄电池的总电压，再逐一检查单格电压及其连接是否良好。检查蓄电池单格电压，需用金属丝接触蓄电池内汇流条，测量其单格电压是否正常，是否出现短路或平路。

2）检查蓄电池溢流阀。先将上盖取下，检查溢流阀周围有无漏液，再将溢流阀打开，看其是否粘连、松动或损坏。

3）检查蓄电池的内部。打开蓄电池，检查内部电解液干湿度是否适中或用木条测试。

4）检查密封性。用气压测试装置（即气压计）往蓄电池内充气，压力是否在 30 ~ 40kPa，压力表是否稳定。

5）检查蓄电池的容量。通过将完全充电的蓄电池进行放电（放电电流为5A）来检测。

7.1.2　蓄电池故障的简易诊断方法

首先，检查蓄电池的外部。

1）检查蓄电池外壳应无裂缝变形和渗漏；表面应清洁，极柱无腐蚀，接线绝缘应良好，无自放电；蓄电池接头应无松动或损坏，且接地牢固。

2）外观检查后，打开前照灯检查，若灯光白亮，说明蓄电池正常；若灯光红暗，说明蓄电池容量不足。

3）前照灯检查后，接通电源起动电动机，若转速正常，灯光稍微变暗，但仍有足够的亮度，说明蓄电池性能良好；若起动显得无力，且灯光很暗，说明蓄电池已过度放电，需立即充电；若接通电动机时灯光暗红，且发动机旋转即熄火，说明电源放电超过极限或极板严重硫化。

其次，做充放电试验。

蓄电池充足电后，每个蓄电池的电压应为13～14V，超出这个电压值为不正常。蓄电池的电用完后，每个蓄电池的电压应为11.60V以上，低于11.60V的蓄电池为不正常。

再次，做装车运行试验。

如行驶里程能达到要求，蓄电池放电后电压的一致性较好，即为合格蓄电池。如果行驶里程小，蓄电池一致性较差，即为不合格蓄电池。

除了上述方法外，也可用万用表测量蓄电池的电压和电流是否符合标准，符合则说明蓄电池正常，否则说明蓄电池损坏。

7.2　蓄电池故障的检修思路

本节，我们具体来了解蓄电池故障的多发现象及检修思路。

7.2.1　蓄电池的常见故障表现

蓄电池故障通常表现为充电时间不长，电压即迅速升到充电终止电压值；放电时间短，电压迅速降到放电终止电压值。

常见的故障主要有容量下降、充电不足、蓄电池发热异常等。

7.2.2　蓄电池故障的常见原因

蓄电池故障主要原因有如下 4 个：

1. 蓄电池本身原因

首先是质量问题，耐充放性能差；内在极板活性物质不良，自放电加快；电解液因水分蒸发而变浓，腐蚀极板，使极板严重硫化，接受充放电能力降低；蓄电池特性离散过大过快。

2. 充电器原因

使用劣质充电器，它不能按蓄电池要求的规律充电，尤其是过充电，破坏极板；充电不足又使极板迅速硫化，电流、电压不能按阶段随时改变等。对镍系列蓄电池，充电电流过大，内部温度过高，缺乏保护功能，烧毁隔离物，使正负极短路。

3. 控制器原因

劣质控制器不能控制放电，缺乏欠电压保护造成蓄电池经常过放电，铅酸蓄电池极板活性物质过度硫化，镍系列蓄电池过放发热。

4. 人为原因

在使用过后不及时充电，存放期间不定时充电，存放期间环境超常等。过度使用和过度充电，维护不细心，都是蓄电池发生故障的主要原因。

7.2.3　蓄电池故障的检修方法

1）检查控制器欠电压保护功能，如果此功能失效或没有这种功能，则应修理或更换。

2）测定充电器充电终止电压。若充电到终止电压不能恒压仍然继续升高，到终止电压不能停止充电，应立即送修或更换。

3）蓄电池本身。查明情况，找到原因，进行检修。

7.3　常见蓄电池故障的检修举例

我们知道，目前电动自行车上多使用铅酸蓄电池。下面所列举的各种蓄电池故障主要是对铅酸蓄电池而言的，而且适用于各种型号的铅酸蓄电池。

故障1：蓄电池充电效果不佳

现象描述：电动自行车蓄电池容量下降，充电效果不佳。

原因分析：引起蓄电池充电效果不佳常见的故障原因如下：

1）蓄电池故障：蓄电池使用寿命终结；蓄电池外壳破裂造成电解液干涸；蓄电池单格内部短路；蓄电池间特性不均衡。

2）充电器故障。

3）线路故障。在长期运行和颠簸中，电解液蒸发浸酸和自然氧化，可能造成蓄电池连接线路腐蚀、脱落、接触不良，蓄电池盒内布线发生互相交叉磨损后短路等现象。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）蓄电池故障的检修。

① 蓄电池使用寿命终结。容量小于额定容量的60%或规定标准，应当报废并换用新蓄电池。

② 蓄电池外壳破裂，造成电解液干涸，应尽快修补，并保证密封性能；接线柱周围渗漏碱（酸）堆，应用中性或淡酸（碱）性水液洗净后立即擦干，进行密封修补。经过修复的破裂外壳，应放入水中经安全阀口进行充气试验。若蓄电池在水中没有气泡溢出，说明修理后密封合格。

③ 蓄电池单格内部短路。如果已经在寿命的后期，没有修复价值的应当更换新的。

④ 蓄电池间特性不均衡。蓄电池组工作不正常，可能是其中某个单体蓄电池特性有问题，与其他单体蓄电池不能步调一致，影响整组蓄电池的性能。这时，应找出性能差的蓄电池进行个别处理。

2）充电器故障的检修参见“充电器常见故障速修要点与技巧”一章。

3）线路故障的检修。针对上述线路故障，经过仔细检查，一般较容易被发现并处理。新更换的线路应与接线柱焊好或用螺母固定后，最好用耐酸树脂封固，隔离酸气和防止氧化。

故障 2：蓄电池过热

现象描述：电动自行车蓄电池外壳用手触摸有明显的过热感觉。

原因分析：车用蓄电发热会使电解液水分蒸发并逐渐干涸，充电效率降低，极板变形，内阻增加，机械部件氧化加速，烧坏极板或隔离物，终使蓄电池容量降低，寿命缩短。

引起蓄电池过热（包括放电过热和充电发热）的常见故障原因如下：

1）放电过热的主要原因。

蓄电池放电过热是放电电流过大引起的。主要是因为以下原因：

① 负载过重，长时间大负载运行。

② 车体本身阻力如轮轴问题、轴承问题、制动问题，以及车轮与车架摩擦等。

③ 坡度过陡。

④ 蓄电池容量偏小。

⑤ 电动机问题。

⑥ 线路问题。

2）充电发热。

充电中发热的主要原因如下：

① 蓄电池衰老，内阻变大，电解液干涸，内部短路等造成发热，只有换新蓄电池。

② 充电器故障，充电器没有反脉冲消除极化功能、充电器不能在充电后期恒压，造成蓄电池过充电。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）放电过热。蓄电池容量偏小是蓄电池过热的原因之一，应该增大容量，降低工作电流。对于圆柱形蓄电池组，且蓄电池盒内尚有空间余地，可以并联一组蓄电池。在并联前，应先按蓄电池组电压计算蓄电池节数。

2）充电发热。若充电器没有恒压和反脉冲的功能，可人为地控制温升。具体方法是：在温度升高的开始阶段，及时断开电源停止充电，温升和极化即自行停止，但降低和消除极化需要时间。当温度降

低后，再继续充电，之后再停充，如此反复，直至充足电为止。

故障3：蓄电池漏液

现象描述：电动自行车蓄电池停驶时出现渗酸漏液。

原因分析：引起蓄电池漏液常见的故障原因如下：

1）上盖与底槽之间密封不好或因碰撞使封口胶开裂造成漏液。

2）帽阀渗酸漏液。

3）接线端处渗酸漏液。

4）其他部位出现渗酸漏液。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

首先检查外观，找出渗酸漏液部位。然后打开盖片，检查帽阀周围有无渗漏痕迹。也可以将有漏液的蓄电池表面擦拭干净，并将其90°倒置，使蓄电池接线端子朝着水平方向，存放24～48h，检查漏液的部位。再打开帽阀，检查蓄电池内部有无流动的电解液。

经上述检查之后，若仍未发现异常，应做气密性测试，即将蓄电池放入水中充气加压，检查蓄电池有无气泡冒出，如果有则说明存在渗漏。

在充电过程中，应检查有无流动的电解液，如果有则是过多的电解液引起的，应将其抽出。

故障4：蓄电池极板硫酸盐化

现象描述：极板硫酸盐化，又称硫化，是指蓄电池长期充电不足或放电后长时间未充电，极板生成一种白色坚硬、大颗粒、不易还原、再结晶的硫酸铅，充电时又非常难于转化为活性物质的硫酸铅。

极板硫酸盐化故障的现象是，打开电源锁后不能带动电动机运转；充电时较早出现气泡，电解液密度达不到规定值且温度较高；放电使用或测蓄电池容量，其容量明显降低，端电压下降快，电解液密度低于正常值；正极板呈浅褐色（有的呈白色），负极板变成灰白色，且极板表面变硬为砂粒等。

原因分析：引起蓄电池极板硫酸盐化常见的故障原因如下：

1）蒸馏水蒸发过多或意外泄漏未及时补充。

2）电解液不纯。

3）充电器长期充电不足。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）轻微硫化的蓄电池，可采用过充电法。用初充电的第二阶段充电电流连续地进行过量充电。当电解液产生大量的气泡，密度达 1.28g/cm^3 不再升高后，即可使用。

最好将有硫化的个别蓄电池单独进行过充电，使其消除硫化。

2）硫化较重的蓄电池，可采用小电流过充电法。将蓄电池以 10h 放电率放电至终止电压，倒掉电解液，加入蒸馏水，用初次充电的第二阶段充电流进行连续充电，待电解液密度升至 1.15g/cm^3 左右时，再按 10h 放电率放电至终止电压。然后，再用原来充电电流进行过充电，直到电解液密度不再上升时，把电解液密度调整到 1.28g/cm^3，并用 10h 放电率放电至终止电压。如果蓄电池容量达到额定容量的 80%，即可使用。若容量还不够，可反复进行，直到蓄电池容量合格为止。

3）严重硫化的蓄电池，可用水处理法，即采用均衡充电方法。首先将蓄电池充足电，再放电 10h，至单格电压均为 1.8V 时，倒出电解液，立即加入蒸馏水，静放 1～2h，再按初次充电的第二阶段充电电流的 1/2 对蓄电池充电，当其密度为 1.12g/cm^3 时，再将电流减少 1/5 充电。正、负极出现大量气泡，电解液密度不再上升时，则停止充电，并用 10h 放电率的 1/5 放电电流放电 1.5～2h。如此反复操作，直至蓄电池电解液充分产生气泡，极板恢复正常，容量达到额定容量的 80% 即可使用。

这种充电方法不适宜免维护蓄电池的充电。若经以上处理后仍不能修复，说明蓄电池已损坏，应更换新蓄电池。

故障 5：蓄电池中的电解液容易干

现象描述：电动自行车蓄电池中的水经常是加注没多久就干了。

原因分析：铅酸蓄电池是一种化学电源，它所使用的电解液由纯硫酸和一定比例的蒸馏水配置而成。在实际使用中，由于蓄电池有时会处于过充电状态，难免有一部分水被电解蒸发，这是正常的。但水

分的减少是极微小的，如果蓄电池中的电解液容易烧干，则说明蓄电池存在故障。蓄电池内的电解液烧干后，轻者使电动自行车的续行里程减少，严重时将会造成电动自行车不能起动，以致使极板硫化，而使蓄电池报废。

引起蓄电池中的电解液容易烧干常见的故障原因如下：

1）忽视了对蓄电池用水质量的管理，所使用的水中混入了铁、铜、镍等金属离子，降低了负极氧的析氢电位，从而加速了电解液减少的速度。

2）蓄电池极板硫化，使蓄电池容量减少，充电时蓄电池过早出现气泡，加快了蓄电池水烧干的速度。

3）蓄电池的极板有毛刺或蓄电池泥沉淀，造成蓄电池极板短路，致使充电时蓄电池内出现气泡，使水蒸发掉。

4）选用的蓄电池容量与整车所需耗电量不匹配，蓄电池容量过小，在充电时过早出现气泡，水蒸发量大，从而加速了蓄电池内水的烧干程度。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）将蓄电池打开。给蓄电池加水前应先打开蓄电池的安全阀，蓄电池安全帽位于蓄电池的安全阀盖的下面，安全阀盖一般用胶黏接在蓄电池的大盖上。打开时，用螺钉旋具插入蓄电池与安全阀盖之间的缝隙处，用力向上撬，取下安全盖，可以看到黑色的橡胶安全阀，取下安全阀就可以看到蓄电池的内部了。

这里要注意的是，一般蓄电池安全阀周围放置了一些玻璃丝棉，其作用是为了吸附从安全阀处渗出的电解液，在取下安全阀时应同时将玻璃丝棉取下，待修复后再将这些玻璃丝棉恢复到原来的位置。

2）加水操作。用一次性注射器吸入蒸馏水或蓄电池的补充液，从安全阀下面的排气孔注入到蓄电池内部，注水多少应根据蓄电池的缺水程度而定。一般以能够看到蓄电池内部有流动的电解液即可。对于失水较多的蓄电池，在加水之后让其渗透一段时间，再补加一次。并注意保证每个单格内电解液的高度一致。

3）装复蓄电池。蓄电池加水后，应立即将其装复，并用 AB 胶或 502 胶将安全阀胶粘好，恢复玻璃丝棉填充物，即可使用。

故障 6：蓄电池自行放电

现象描述：电动自行车的蓄电池充足电后，停放一段时间再使用时，蓄电池没电了。

原因分析：蓄电池在不工作的情况下，逐渐消耗电量的现象称为自放电现象。蓄电池自行放电是不能完全避免的，一般认为每昼夜消耗本身容量的 2% 以下是正常的，超过 2% 时，为不正常的自放电现象。蓄电池发生自放电故障后，轻者影响电动自行车的续行里程，严重时会损坏极板，使蓄电池电容量下降，提前终止蓄电池的使用寿命。

引起蓄电池自行放电常见的故障原因如下：

1）蓄电池顶盖上积有大量的灰尘，被水或电解液浸湿后，使正负极接线柱连通，而造成放电。

2）蓄电池壳体上放置扳手、螺钉旋具等金属物，将正负极连通，使蓄电池产生剧烈的自行放电现象，很快会将电能放完。

3）蓄电极隔板腐蚀穿孔、损坏，或正、负极板下的沉积物过多，使正、负极板直接连通产生短路，从而引起蓄电池自行放电。

4）蓄电池极板杂质过多，本身不纯，在结构上会形成许多微小的“小蓄电池”，从而产生自行放电现象。

5）电解液不纯，含有杂质，或添加的蒸馏水含有金属成分，在使用中电解液中的杂质随电解液的流动附着于极板之上，各杂质之间形成一定的电位差，使蓄电池内部常处于短路状态，从而造成自放电现象。

6）蓄电池存放时间过长。试验表明蓄电池存放一个月的正常放电，可以将电池内的电能放掉 50%。若存放时间过长，电解液中的水与硫酸，因比重不同而分层，使电解液密度上小下大，形成电位差而产生自行放电。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

取下蓄电池组，将蓄电池内的电解液全部倒出，取出极板组和隔板，并用蒸馏水将极板和隔板冲洗干净，然后重新装上，并按规定加入新的电解液，重新充电即可。

故障预防：蓄电池自行放电的预防措施如下：

1）加强蓄电池的日常保养，随时清除蓄电池上盖上的灰尘、水迹、油污和电解液，经常保持蓄电池的清洁。

2）蓄电池缺水时应及时添加，防止因缺水而引起极板活性物质脱落。此外，一定要加蒸馏水，不得用河水、井水或自来水代替蒸馏水。

3）在配置电解液、添加蒸馏水时，必须使用陶瓷或塑料盛器，不得使用金属盛器，严防杂质混入，以保证电解液有较高的纯度。

4）更换电解液时，一定要将蓄电池内的残液清除干净。

5）蓄电池极板、隔板损坏时应及时进行修复或更换。

6）冲洗蓄电池外表时，应严格防止污水从加液口盖或通气孔进入蓄电池的内部，以免影响电解液的纯度。

7）蓄电池在长时间存放过程中，应定时进行充电，使电解液密度保持均匀，并使液面不得下降。

故障7：蓄电池变形

现象描述：电动自行车蓄电池使用一段时间后，出现变形（鼓肚）现象。

原因分析：蓄电池外壳是一种塑料制品，当受到高温高压后就会产生变形的现象。因此，蓄电池变形是由于充电过程中“热失控”所致。蓄电池在充电到容量的80%后便进入了高电压的充电区，这时，在正极板上先析出氧气，氧气通过隔板中的孔，到达负极，在负极板上进行氧复活反应，产生热量。当充电容量达到90%时，氧气发生速度增大，负极开始产生氢气。大量气体的增加使蓄电池内压超过开阀压，安全阀打开，气体逸出，随着安全阀打开次数的增加，使蓄电池内的水分逐渐减少，最终导致蓄电池失水。

因为蓄电池中热容量最大的是水，水分减少后，使蓄电池温度升高很快。同时由于失水使蓄电池中的超细玻璃纤维隔板发生收缩现象，引起与正负极板的附着力变差，内阻增大、充放电发热量加大、温度上升快等现象。使蓄电池出现“热失控”，当蓄电池内温度达到额定上限的80%以上时，蓄电池便发生变形。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

蓄电池变形通常有两种情况：一种是一组蓄电池（3 只）全部变形；另一种是一组蓄电池（3 只）中只有一只或两只变形。应根据不同的情况进行检修。

1）一组蓄电池（3 只）全部变形的检修。一组蓄电池（3 只）全部变形，可能是蓄电池短路或充电器有故障。首先应检查蓄电池电压是否正常；若异常，再测量单格电压，判断是否存在短路故障；若无短路，则说明充电器有故障。应检查充电器的充电参数。主要检查两点：一是充电电压偏高（高于 4.47V），而又无过充电保护；二是涓流转换点电流偏低，不同含金板栅的蓄电池要求转换电流不相同，一般用铅钙锡铝合金制作的板栅的蓄电池转换电流较小；而用铅锑合金制作的板栅的蓄电池转换电流较大；充电电压过高或转换电流偏低均可能引起过充电，而产生蓄电池“热失控”故障，应更换充电器。

2）一组蓄电池（3 只）中其中一只或两只变形的检修。一组蓄电池中只有一只或两只变形，一般是蓄电池存在故障，其故障原因如下：

① 每只蓄电池电荷不一致，充电时造成某些蓄电池过充，而引起变形。应检查单格是否存在短路，某一单格存在自放电故障等。

② 某些蓄电池出现极板不可逆硫酸盐化，充电时，内阻增大，严重发热而造成蓄电池变形。

③ 某些蓄电池连线反极，充电时发热而造成蓄电池变形。

蓄电池轻度变形，只要找到故障原因，并及时排除故障，仍可继续使用。如果严重变形，则不能修复，只能更换新的蓄电池。

故障预防：预防蓄电池变形的措施如下：

1）使用的充电器必须与蓄电池相匹配，不同生产厂家、不同型号的充电器不能混用。

2）严格检查充电器，杜绝严重过充电现象。

3）定时对蓄电池液位进行检查，及时排除蓄电池漏液的故障，保持蓄电池有足够的电解液，避免“热失控”的产生。

4）尽量避免蓄电池产生内部短路及微短路的倾向，发现问题及时检修。

5）蓄电池充电必须在室内进行，并保证通风和散热良好。

6）勤充电，防止过放电的发生。

7）蓄电池存放时，应远离热源，并定时充电，做到足电存放。

故障8：蓄电池充不进电

现象描述：使用配套的充电器充电时，蓄电池充不进电。

原因分析：引起蓄电池充不进电常见的故障原因如下：

1）蓄电池干涸。

2）蓄电池不可逆硫酸盐化。

3）充电回路的连线有问题。

4）充电器损坏。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查蓄电池是否干涸，如干涸，应添加蒸馏水或1.05D（电解液的种类之一）的电解液，并达到一定高度，再进行充电，充电电流控制在1.8A，充电12h，再测量3只蓄电池的电压，每只应在13.4V以上为正常。

2）可拆开蓄电池检查，再根据蓄电池极板盐化的程度，采用均衡充电法或“水疗法”恢复蓄电池的电容量。如不能恢复，则更换蓄电池。

3）检查充电回路的连线是否开路，连线与插头接触是否完好，插头与插座有无打火烧弧现象，应逐一进行排除，使充电电路连接可靠。

4）检查充电器有无异常现象，充电参数是否符合要求；正常时初期充电电流应达到1.6~2.5A/只；最高充电电压应达到14.8~14.9V/只；充电/浮充电转换电流应达到0.3~0.4A/只；浮充电压应达到14.0~14.4V/只。若不正常，应检修或更换充电器。

故障9：蓄电池突然失去起动能力

现象描述：蓄电池在使用过程中突然失去起动能力，且起动时，蓄电池的单格处有电解液喷出。

原因分析：此种现象是蓄电池单格短路引起。由于单格短路，使

蓄电池内阻增加，电压降低，不能输出强大的电流，因此失去了起动的能力。同时在短路处会产生高温，使电解液急剧受热而喷出。

引起蓄电池单格短路的故障原因主要有两种：一是蓄电池使用的电解液含有杂质；二是蓄电池活性物质脱落。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

首先查找短路的单格，可用一根细导线使蓄电池各单格的正、负极打火，观察火花的强弱，无火花或火花较弱的单格，即为短路单格。短路点确定后，再按以下方法进行检修。

1）电解液中含有杂质的检修。对于采用不纯电解液的蓄电池，应先将蓄电池用标称容量的 10% 的电流放电至单格电压 1.7V 为止，然后将电解液全部倒出，并用蒸馏水清洗干净，再换用纯净的电解液，按正常的方法进行充电。

2）活性物质脱落的检修。对于极板活性物质严重脱落的蓄电池，一般会造成不可逆的硫酸盐化。首先应对 1.8A 的电流对其充电，续充 12～16h，观察电压是否能达到 13.4V 以上，若蓄电池组之间电压相差较大，将其放电到终止电压，再充电 20h，之后以 1.5A 电流放电至 10.5V/只，这样反复 2 次或 3 次，直至不可逆盐化消除为止。

应急措施：蓄电池单格短路时，可进行应急处理，即采用粗导线将短路单格的正、负极柱短接，使短路单格失效，蓄电池仍可继续使用。但采用这种方法，在低温环境下，电动自行车可能难以起动，应急处理方法只限于在行驶途中使用，在回到驻地或维修点时，应对蓄电池进行检修或更换新蓄电池。

故障 10：蓄电池电压下降快

现象描述：新蓄电池在充足电后装车使用，起动时电压下降快。

原因分析：蓄电池电压下降快一般是蓄电池容量偏低、电动自行车起动电流过大、蓄电池连线接触不良而造成短路引起的。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）蓄电池容量偏低。在蓄电池充足电压后用万用表对蓄电池电压进行检测，若偏低，应对蓄电池进行放电、再充电，使蓄电池保持

足够的电压。

2）电动自行车起动和运行电流过大。检测电动自行车的起动和运行电流，若起动电流大于15A，运行电流大于6A，说明控制器或电动机有故障，应调整控制器限流值或对电动机进行检查和修理。

3）蓄电池连线短路。检查蓄电池连线是否牢靠，若连线接头松动接触不良或存在短路现象，应重新连接，排除短路故障。

4）仪表显示与蓄电池实际容量不相符。可按照蓄电池2h率放电电压与仪表显示的电压进行比较，若仪表显示的电压与蓄电池容量的关系不相符，应要求生产厂家进行调整。

故障11：蓄电池突然无电压输出

现象描述：电动自行车骑行途中蓄电池突然无电压输出。

原因分析：蓄电池突然无电压输出，可能是蓄电池发生了开路故障。其主要原因是由于装配时极柱受损有裂纹、虚焊，加酸时，不小心使酸液漏入引线焊点使其腐蚀而产生开路。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

检查蓄电池充电回路连线是否牢固，连线和插头是否接触不良，插头与插座是否打火烧蚀，线路是否断裂等，应根据故障原因，采取相应的方法进行修复。

应急措施：在行驶途中，蓄电池出现断路故障时，可采用以下应急措施：

1）蓄电池内部开路。可在正极柱上引一根导线，对单格逐一试火，无火则为开路处。可用一根粗导线将其连接，便可开启电动自行车前行。

2）蓄电池外部开路。外部开路可通过直观检查，先确定开路点，再用导线连接，即可暂时使用。

3）蓄电池接线柱断掉。蓄电池的接线柱从胶木壳上平齐断掉时，可暂时不用此单格。如负极柱断掉，可将搭铁线移到同一单格的另一接线柱上，将其紧固即可起动。若起动困难，则将搭铁线与断掉的柱头相连接，再用力将其压紧，电动机起动后，再用一根导线将搭铁线接在断柱头一格的另一柱头上，待电动自行车返回到家（或维

修点）后，再进行修理。

故障 12：蓄电池电解液结冰

现象描述：在严冬季节，蓄电池电解液有时会出现结冰现象。

原因分析：引起蓄电池电解液结冰常见的故障原因如下：

1）使用过程中，电解液中的硫酸过分损失，仅补充蒸馏水使电解液的密度不符合要求而结冰。

2）蓄电池过度放电，使电解液因密度减小、冰点升高而结冰。

3）补充蒸馏水时，蒸馏水未能及时与电解液混合，电解液温度局部过低而结冰。

预防措施：为了避免电解液结冰情况的发生，在使用中应注意以下事项：

1）定期检测电解液的密度（密度在 1.20g/cm^3 以下时应充电），若不符合要求，则应及时调整。

2）灯光比平时暗淡、起动无力，冬季放电超过 25%、夏季超过 50% 时，应及时进行补充充电。

3）添加蒸馏水，应在充电前进行，注入后应及时进行充电并让其快速和硫酸融合。

4）环境温度低于 -30℃ 时，应将蓄电池拆下放置在室内。

故障 13：蓄电池充不进电或充不足电

现象描述：电动自行车蓄电池充不进电或充不足电。

原因分析：引起蓄电池充不进电或充不足电常见的故障原因如下：

1）蓄电池使用寿命终结。

2）熔断器熔断或接触不良。

3）充电回路的连接故障。

4）充电器故障。

5）蓄电池电解液干涸。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查蓄电池使用寿命。如果使用寿命终止，则应修复或更换

蓄电池。

2）检查熔丝。如果蓄电池内熔断器熔断，则更换熔断器。如果是熔断器与熔丝座之间接触不良，则使其接触良好，或更换熔断器。

3）检查充电回路。充电回路的连接是否可靠，连线与插头接触是否完好，插座和插头是否有打火烧弧现象，有无线路损伤断线等。若出现异常，应将充电回路连接牢固或焊牢。

4）检查充电器。检查充电器的充电参数是否符合下述要求：初期充电电流应达到1.6～5A/只；最高充电电压应达到14.6～14.8V/只；浮充转换电流应达到0.3～0.4A/只，浮充电压应达到13.8～14.1V/只。若充电器不正常，则应更换。充电器无输出电压或输出电压低时，或者充电器指示灯异常造成假充满时，则应更换充电器。

5）检查蓄电池。检查蓄电池内部是否干涸。若是，应补加蒸馏水或密度为1.05g/cm^{3}的稀硫酸后进行维护充电、放电，恢复蓄电池容量。

干涸的蓄电池加液后的维护充电，应控制最大电流为1.8A，充电10～15h，3只蓄电池的电压均应在13.4V以上；如果蓄电池之间电压差超过0.3V，说明蓄电池出现不同步的不可逆硫酸盐化。若充电时，电压上升特别快，某些单格电压特别高，而放电时，蓄电池电压下降又特别快，且不存电或存电少，则说明蓄电池极板产生了不可逆硫酸盐化；对于发生不可逆硫酸盐化的蓄电池，需要更换整组蓄电池或作除硫酸盐化处理。

如果没有电流显示或蓄电池内部出现打火时，说明蓄电池已经开路，其主要原因是由于在装配时极柱受损有裂纹、虚焊，加酸时，不小心使用酸漏入引线焊点使其腐蚀而产生开路，应根据开路原因进行修复。

故障14：蓄电池一用就没电

现象描述：电动自行车蓄电池充电不到1h，充电器绿灯亮显示充电已满，但一用就没电。

原因分析：引起蓄电池电量异常的主要原因是充电器电压低或蓄电池已进入衰退期。

充电时充电器是通过检测蓄电池两端电压来判断是否充足电的，当充电器显示充足电时，可用万用表检测蓄电池两端电压来判断是蓄电池问题还是充电器的问题。如果此时电压已经达到了充足电时的状态，说明蓄电池有故障；否则，就是充电器有故障。

若蓄电池有问题，说明蓄电池容量减少，应进一步检修。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查蓄电池的容量。首先将蓄电池充足电，再采用 1.7A 的电流进行放电，待蓄电池的电压降到 10.6V 时停止放电，将放电的小时数乘以 1.7A，即为该蓄电池的容量。

2）检查蓄电池的电解液。打开蓄电池上部的塑料盖，取下橡胶帽，透过小孔检查电解液，如果较少，则应分别注入 4.6ml 蒸馏水，直到极板全部浸入水中为止。然后用 1.7A 的电流充电数小时，当蓄电池的电压升高到 14.3V，再用 1.7A 的电流放电，通过放电时间计算出蓄电池的容量，如果容量仍然没有增大，则说明蓄电池已经硫化，应作消硫化处理，具体方法参见蓄电池检修“故障 4”。

3）对每次抽出的电解液进行加热浓缩，将其浓缩到 50mL 以下，然后分别均分到 6 格小蓄电池中，再将对蓄电池进行充电、放电，计算蓄电池的容量。如果蓄电池的容量达到了标称容量的 90%，则说明蓄电池已恢复正常。

如果抽出的电解液带褐色且比较浑浊，说明蓄电池的活性物质已经耗尽，蓄电池的使用寿命已经终结，已无修复价值。

故障 15：蓄电池电压降得快

现象描述：电动自行车新装的蓄电池起动时电压降得快。

原因分析：引起蓄电池电压降得快常见的故障原因如下：

1）使用了不合格的蓄电池。

2）蓄电池连线短路。

3）蓄电池容量偏低。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）首先检查电压与蓄电池容量是否相符，见表 7-1。若仪表显示的电压与蓄电池容量关系不符合，说明蓄电池不合格，应由厂家更换。

表 7-1　蓄电池 2h 放电电压与容量的关系表

容量(%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
电压/V	12.66	12.60	12.52	12.43	12.30	12.13	11.94	11.74	11.43	11.18	10.50

2）检查蓄电池连接线是否牢固可靠，有无短路等，有则应进行处理。

3）检查蓄电池容量是否偏低。若偏低，则应对蓄电池进行充放电。

4）检查电动自行车起动和运行电流是否过大。若过大（起动电流在 15A 以上，运行时电流 6A 以上），应调整控制器限流值，或对电动机进行检查修理。

故障 16：蓄电池不存电

现象描述： 电动自行车蓄电池存放一段时间后蓄电池不存电。

原因分析： 引起蓄电池不存电常见的故障原因如下：

1）电源锁开关忘记了断开。

2）电动自行车电源部位绝缘不好。

3）蓄电池自放电过大。

故障检修： 根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

首先应检查电源锁开关是否断开。如果开关未断开，控制器、仪表等仍处于工作状态，会有 30～150mA 的小电流放电，就会在 1～4 周的时间内将蓄电池完全放电，甚至过放电。

接着应检查电动车电源部位绝缘是否良好。可用万用表的 mA 档串联在蓄电池回路中，将车、电源锁断开，检查是否有小电流通过。

最后检测蓄电池的端电压是否一致，是否存在自放电过大的故障。在正常情况下，蓄电池在存放过程中，2 个月以内应补充充电一次，可防止自放电影响蓄电池的使用性能。

故障 17：蓄电池破裂

现象描述： 电动自行车在行驶过程中，蓄电池外壳破裂。

原因分析： 因蓄电池固定不牢或因其他原因使蓄电池发生碰撞，

均可能造成蓄电池外壳破裂。

应急措施：蓄电池外壳破裂无需修理，只有更换蓄电池。但如果在行驶途中发现蓄电池外壳破裂，可采取以下急救措施：

1）将蓄电池倒向不漏的一侧，使蓄电池内的电解液不再漏出。

2）堵漏。将外溢的电解液擦干，观察蓄电池的破损情况，如果是长条状裂缝，可用钢锯片沿缝隙开成“V”形槽，在蓄电池盖处挖些沥青，加热后填入缝隙内。

3）如果电解液已基本漏光，补漏后可加注少量普通水，静止 10～20min 后，即可使用。

故障 18：电动自行车的有刷电动机转动缓慢，驱动力严重减小。

现象描述：打开电源开关，转动调速转把，电动机转动缓慢，驱动力严重减小。

原因分析：引起上述现象的原因有以下几点：

1）蓄电池电量不足，控制器进入欠电压保护，导致通过电动机绕组的电流时大时小。

2）电动机绕组短路或断路。

3）电刷严重磨损。

4）电刷弹簧弹力减弱。

5）换向器表面严重烧蚀。

6）换向片间有异物引起换向片短路。

7）电动机磁钢脱落或磁性减弱。

8）电动机轴承转动不灵活。

9）控制器损坏，导致输入电动机的电流减小。

10）调速转把故障。

11）闸把断电开关损坏。

12）电源开关接触电阻过大。

13）电路中某处插接器或弹头与弹壳接触电阻过大。

故障检修：用万用表测得电动自行车蓄电池充电插孔中的正极与负极间的电压为 48V，表明蓄电池盒内无异常。接着关断电源开关，

将控制器与电动机间的连线从弹头与弹壳处拔下，用万用表 R ×1 档测得电动机正极与负极间的电阻为 300Ω，表明电动机内部电刷与换向器的接触电阻过大。

拆解电动机，经检查发现电刷严重磨损，换向片表面严重烧蚀和污损，相邻换向片间也有一些碳粉和铜粉。可用布按图 7-1 所示的方法将污物除去。

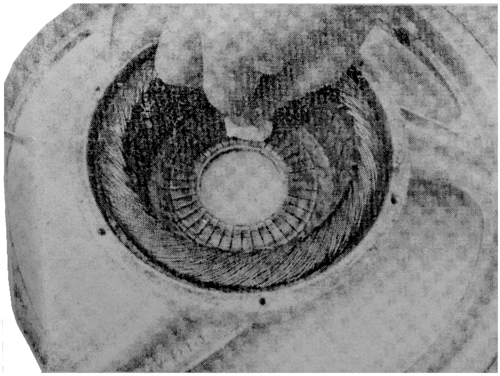


图 7-1　用布清洁换向器

先用刮刀或锯条仔细地将换向片槽内积存的碳粉和铜粉积块刮除，同时用毛刷清理。然后用细油石或细砂纸将换向器的烧蚀物和其他污物除去，并用毛刷将绕组、换向器及电刷上的污物清除干净。重新装好所拆各件，通电试车，故障现象消失。

第8章　电动自行车控制器常见故障速修要点与技巧

8.1　控制器的检测

控制器故障多为电气元器件及电路故障，故障的检测是故障检修的首要步骤。

8.1.1　有刷控制器的检测

有刷控制器的检测方法如下：

1. 断开电源，用二极管档检测

具体方法如下：

1）万用表红表笔接控制器电源输入正极，黑表笔接负极，有充电现象为正常。如短路，则为损坏。

2）红表笔接控制器电源输入负极，黑表笔分别接红色、黄色。如短路，则损坏。

3）红表笔接控制器电源输入极，黑表笔接电动机负极（蓝色或绿色），万用表的参数应在100～200Ω之间。如短路，则损坏。

4）转把的红、黑、绿（蓝），不应有短路现象。

2. 通电测量（通电前，先断开制动断电插头）

具体方法如下：

1）检测控制器电源输入正负极是否有36V或48V以上电压。

2）检测转把电源是否有5V以上电压。

3）转动转把检测霍尔输出电压是否在0.8V～4.2V之间变化。

4）转动转把检测控制器（黄、绿）有无电压输出。

3. 短路制动断电线（黄色、黑色），控制器应停止输出。

8.1.2　无刷控制器的检测

无刷控制器的检测方法如下：

1. 用二极管档断电检测

具体方法如下：

1）检测控制器电源输入正负极是否短路。

2）检测控制器绕组参数。

① 用黑表笔接电源正极，用红表笔分别接触黄、绿、蓝 3 根组绕线，参数应在 400～700 之间。

② 用红表笔接电源负极，用黑表笔分别接触黄、绿、蓝 3 根绕组线，参数应在 400～700 之间。

③ 霍尔信号检测：用黑表笔接黑线，红表笔分别接红、黄、绿、蓝 4 根线，应无短路故障。

2. 通电检测

具体方法如下：

1）检测控制器电源输入电压是否有 36V（48V）以上电压。

2）检测转把电源是否有 5V 以上电压。

3）转动转把检测信号线上是否有 0.8～4.2V 的电压。

8.1.3 无刷控制器故障的快速判断

无刷控制器故障快速判断的顺序与部件如图 8-1 所示。

在控制器输入电源电压正常的前提下，不必拆开断电闸把与控制器的连线，将万用表置于直流电压 20V 档，红表笔触及闸把红色电源线（+）根部金属片，黑表笔触及闸把黑色电源线（－）根部金属片。

如采用低电平制动的电动自行车，则断电闸把两根线处于高电平位置，握紧闸把时，两线间电压为低电平（0V），说明断电闸把工作正常。之后，将万用表红表笔触及调速转把输出线（黄色）根部金属片，黑表笔触及调速转把电源负极线（黑色）根部金属片，对于正把控制方式的电动自行车，转动转把时，两线之间的电压由低到高的变化（如采用反把控制方式的电动自行车，两线间的电压则从高到低变化），且控制器内的 PWM 芯片能输出驱动脉冲，检测其输出线端电压应与转把转角呈对应变化，端电压最大值与电源电压值相同。此时，虽已说明调速转把工作正常，PWM 芯片也输出了驱动脉冲，但还不能证明控制器没有故障，还需进行下一步检测。

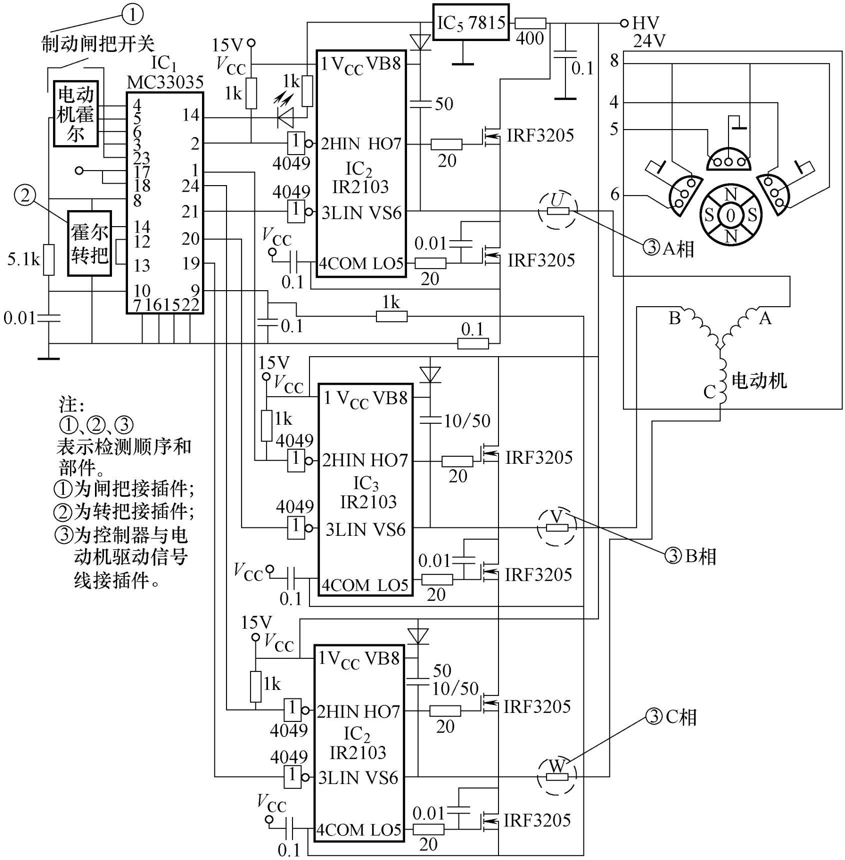


图 8-1　无刷控制器故障快速判断的顺序与部件

用万用表直流电压 50V 档，黑表笔触及电源负极线（黑色）根部金属片，用红表笔分别触及控制器驱动信号引出线，与无刷电动机三相驱动信号引入线连接的接插件中 A 相（黄色）、B 相（蓝色）和 C 相（绿色）线的金属部分，转动电动机时，检测 A、B、C 这 3 个绕组的电压是否呈顺序地规律变化。如 A、B、C 3 根线的电压呈顺序地规律性变化，则说明控制器工作正常，无故障。如果 A、B、C 3 根线电压不呈顺序地规律变化，或无电压，无变化，则说明控制器的

驱动电路或位置传感器部分与电路有故障，或控制器的主芯片部分功能损坏。

8.2 控制器故障的检修思路

本节，我们具体来了解控制器故障的特点、多发现象及检修思路。

8.2.1 控制器故障的特点

控制器的中心部件是电路板，所有主芯片、主要元器件和外围部件都装设在一块电路板上，因此故障大都在电路板上。电路板的故障类型有端口型故障、功能型故障和参数型故障等。其中，端口型故障容易修理，功能型故障比较麻烦，参数型故障不能修理。

控制器常见故障主要是大电流开关部分，前级控制电路多采用四运算放大器或比较器，只要控制器内两种稳压电路设计可靠，其损坏比例极小。

无刷电动机转动不正常，确定为断相运转，大都是功率管烧毁。功率管烧毁后的断相运转可以明显地感觉出来，从转把和身体感到粗糙的脉动，如果继续运行，可能会连续烧毁更多的功率管。遇到这种情况，应进行检修。

通过检测控制器连接部件或引线的电源电压或信号电压，可以判断出控制器的故障部件。

1. 控制器的损坏形式

控制器的损坏形式一般有以下几种：

（1）控制器内部电源电路损坏

一般是控制器内部电路某处短路、开路或接触不良，外围控制器件或外部引线某处短路、开路或接触不良。

（2）功率元器件损坏

功率元器件损坏的原因主要如下：

1）电动机损坏。

2）功率元器件本身质量欠佳或误差等级不足。

3）功率元器件因振动或安装原因造成接触不良。

4）电动机过载工作。

5）功率元器件驱动电路损坏。

6）功率元器件参数设计不当。

（3）控制器工作时断时续

控制器工作时断时续的原因如下：

1）元器件因周围环境温度过高或过低而导致参数漂移。

2）控制器设计功耗过大，使某些元器件因局部高温而强行保护状态。

3）接触不良。

（4）线路连接处接触不良

线路连接处接触不良的原因如下：

1）对线材保护不到位。

2）连接导线磨损。

3）插接器松动接触不良。

2. 有刷控制器与无刷控制器的故障特点

（1）有刷控制器故障的特点

1）控制器中 VMOS 损坏率高，多数为 VS 间击穿，加电就高速旋转。在不加电情况下，用万用表欧姆档检测便知，更换好管后故障即可排除。更换时，要注意绝缘和散热，要涂上导热硅脂，固定好散热板的紧固件。伴随 VMOS 击穿，还可能有其他周边组件损坏，如互补推挽下管 PNP 管等。

2）可以带电检查稳压电源输出是否为额定稳压值，如没有电压，应查负载有无短路及其他异常情况。另外，对于 TL494（见图 3-48），尽管其内部复杂，但只要检查关键点，就能判断大致情况。

TL494 第 14 脚为 5V 参考电源输出端，如 12 脚供电正确，14 脚没有 5V，一般是芯片坏了；3 脚也是关键点，它为高电位时，芯片关闭输出，如果它为高电位，要检查造成原因，例如欠电压保护、霍尔调速把工作异常等。也可以检查后部的关键点，例如，VMOS 栅极电压是否随有霍尔速度转把转动而变化等。

（2）无刷控制器故障的特点

1）一般无刷控制器只有欠电压和过电流保护功能。欠电压保护

是在过放电时使电动机断电对其进行保护，而无法对回升电压进行监测，从而使蓄电池过放电。

另外由于无器件老化，控制器局部出现短路现象，也会使某些控制器烧坏。

2）无刷控制器内在质量差。控制器是靠连接线传递信号的，引出线、接插件和功率器件出现故障都会使控制器失效，功率元器件使用过程中迅速老化、损坏。另外，控制器外壳散热条件差，内部温度高，易引发元器件安装脚位脱焊，也会造成控制器损坏。

8.2.2 控制器各功能元器件故障的检修思路

1. 稳压器

当5～18V稳压器异常使控制系统低压电路无供电时，控制器不工作，将产生电动机不转的故障。

故障判断方法如下。

控制器内部电源一般采用三端稳压集成电路，常用7805、7806、7812、7815等规格的稳压集成电路，它们的输出电压分别是5V、6V、12V、15V。将万用表设置在直流电压20V（DC）档位，将万用表黑表笔与红表笔分别靠在转把的黑线和红线上，观察万用表读数是否与标称电压相符，它们的上下电压差不应超过0.2V。

当稳压器异常，例如稳压器输入的电压正常，而输出端无电压输出，则说明它本身故障；如输出电压低且电流大，脱开负载后电压恢复正常，则为负载异常；如输出电压低的同时电流也小，则说明稳压器内阻大。一般有刷控制器控制部件的电源不正常，可以通过更换三端稳压集成电路排除故障。

如无原型号配件更换，可用三端稳压器代换。如稳压器输出的电压为12V，可采用7812集成电路代换；如输出的电压是15V，可采用7815集成电路代换。

2. PWM调制器

当芯片或其外部输入的电压异常使PWM脉冲不正常时，不仅会产生电动机不转的故障，还会产生电动机转速不正常的故障。

故障判断方法如下。

用示波器测PWM调制器，如果有正常的锯齿波脉冲和直流控

制电压输入，不能输出正常的 PWM 脉冲，就可判断 PWM 调制器不正常，如没有示波器，也可通过电压法、电阻法和代换法进行判断。

3. 功率放大器

当场效应晶体管、IGBT 损坏后，会引起熔丝过电流熔断，产生整车无电的故障；同时还会使取样电阻熔断，产生电动机不转的故障。另外，还会使为电动机提供的驱动电流达到最大，容易产生“飞车”故障；也容易损坏电动机内的电刷。

故障判断方法如下。

场效应晶体管、IGBT 是否损坏可用数字万用表的二极管档或指针式万用表的 R×1Ω 档在路测量。

4. 锯齿波发生器

当振荡器定时组件 RC 或芯片内的振荡器异常不能形成锯齿波脉冲时，会导致信号放大电路无激励脉冲输出，产生电动机不转的故障；如产生的锯齿波频率异常，会产生转速不正常的故障。

故障判断方法如下。

可通过示波器测量定时电容 C 两端的波形是否正常，即可确认锯齿波脉冲发生电路是否正常。如没有示波器，也可用数字式万用表的欧姆档和电容档检测定时组件 RC 是否正常；对于芯片，则可采用代换的方法进行判断。

5. 驱动电路

驱动电路异常不仅会导致场效应晶体管、IGBT 不能工作，产生电动机不转的故障，而且会导致场效应晶体管、IGBT 因激励不足而损坏。

6. 调速电路

当转把输出的调速信号异常，使 PWM 调制器输出的调宽脉冲占空比异常时，会产生车速不能调整或调整范围小的故障；导致 PWM 调制器无调宽脉冲输出时，会产生电动机不转的故障。

故障判断方法如下。

检修时必须确认转把未处于空档位置。正常时，旋转转把期间它应能够输出 1～4V（正把）或 4～1V（反把）的调速电压；如输出

的电压不正常，在确认转把的供电和接地线正常后，则说明转把异常。

7. 保护电路

当保护电路异常，会使 PWM 调制器输出的调宽脉冲占空比异常，则会产生车速异常的故障，导致 PWM 调制器无调宽脉冲输出，发生电动机不转的故障。

故障判断方法如下。

采用电压测量法和开路法、短路法就可判断保护电路是否正常。

电动自行车的飞车保护模块异常不仅会产生飞车保护功能失效的故障，而且会产生电动机不转的故障。如怀疑保护器引起控制器无驱动电压输出时，可采用脱开的方法进行判断。如脱开飞车保护器后能够工作，说明该保护器损坏或误动作。

8. 制动电路

当闸把异常或制动控制信号放大电路异常，会使 PWM 调制器无脉冲输出，产生电动机不转的故障，而闸把异常时，将不能为 PWM 调制器提供制动信号，发生制动功能失效的故障。

故障判断方法如下。

对于采用低电平制动方式的电动自行车，可脱开闸把和控制器之间的连线进行判断，如脱开后电动机能够高速旋转，则说明闸把异常；而对于采用高电平制动控制方式的电动自行车，可将制动控制信号输出端对地短路，如电动机能够高速旋转，则说明闸把异常，制动控制信号放大电路的判断和闸把是一样的。检修时也可采用在路测量电阻阻值的方法进行判断。

8.2.3 控制器各功能电路的检修思路

控制器各功能电路的检修思路见表 8-1。

表 8-1 控制器各功能电路的检修思路

电路部位	故障现象	故障原因	故障排除方法
内部电源电路	控制器不工作，电动机不能旋转	限流电阻开路或稳压管、滤波电容短路	利用万用表检测、修理或更换损坏的元器件

（续）

电路部位	故障现象	故障原因	故障排除方法
锯齿波脉冲形成电路	电动机不旋转	定时元件异常,不能形成锯齿波	
	转速不正常	锯齿波频率异常	
PWM 脉冲形成电路	电动机不旋转或转速不正常	芯片输入电压异常使 PWM 脉冲不正常	
信号放大电路(驱动电路和功率放大)	电动机不转	取样电阻熔断,场效应晶体管损坏	
	整车无电	熔丝熔断	
调速控制	车速不能调整或调整范围小	调宽脉冲异常(输入电压异常)或比较器异常	
	电动机不能旋转	无调宽脉冲输出(比较器异常)	
欠电压保护电路	行驶里程过短	电路动作过早	
	蓄电池过放电	电路不工作	
	电动机不能旋转	电路异常,无调宽脉冲输出	修理或更换损坏的元器件
过电流保护电路	车速过慢	PWM 比较器输出的调宽脉冲变窄	
	电动机不转	PWM 比较器无调宽脉冲输出	
	场效晶体管过电流损坏	电路异常无过电流保护	
制动控制	电动机不转	控制 PWM 芯片无激励脉冲输出	
	制动功能失效	闸把异常	
定速巡行	电动机转速不可调	该电路误接通或激励脉冲占空比小	
“飞车”保护	电动机“飞车”	场效应晶体管击穿	
软启动控制	电动机不转或转速慢	软启动控制电容或控制芯片损坏	

8.3　常见控制器故障的检修举例

我们知道，控制器有无刷控制器和有刷控制器之分，各型号的无

刷及有刷控制器的结构及工作原理大体相同，其出现故障的原因及分析方法也大体相似。因此，我们下面所讲到的各类故障现象适用于所有无刷及有刷控制器。

故障 1：有刷控制器无电压输出

现象描述：电动自行车有刷控制器无电压输出，而有时虽有电压输出，但输出的电压不正常。

原因分析：引起有刷控制器无电压输出常见的故障原因如下：

1）制动柄不正常。

2）控制器芯片存在故障。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检修制动柄。将万用表设置在直流 20V 档，对制动转把输出信号的高、低电位进行检测，正常时，捏住制动转把应有 4V 以上的电位变化，否则，说明制动转把有故障，应检修或更换。

2）检修控制器芯片。用万用表对以下部位和元器件进行检测：

① 检查芯片各引脚的电阻、电压是否正常，若异常，再检查与之相对应的外围元器件，若元器件损坏，应更换。

② 检查各种 MOS 管栅极电压与调速手柄的转动角度是否存在对应关系，若不存在对应关系，则表明控制器内 PWM 电路或 MOS 管驱动电路有故障，应进一步对 PWM 电路及 MOS 管驱动电路进行检测，更换损坏的元器件。

③ 检查芯片输入输出引脚的电压与调速手柄转动角度是否存在对应关系，若不存在对应关系，则说明芯片已损坏，应更换芯片。

有刷控制器常用芯片关键引脚介绍见表 8-2。

表 8-2 有刷控制器常用芯片关键引脚介绍

常用控制芯片	电源引脚	接地引脚	信号输出引脚
LM239	③	⑫	⑭
LM239A	③	⑫	⑭、⑬
LM258	⑧	④	⑬
LM324	④	⑪	⑦

（续）

常用控制芯片	电源引脚	接地引脚	信号输出引脚
LM339	③	⑫	①
LM358	⑧	④	⑦
LM358Y	⑧	④	①⑦
TL494	⑫	⑦	⑨⑩

故障 2：无刷控制器无电压输出

现象描述：电动自行车无刷控制器完全没有电压输出。

原因分析：引起无刷控制器无电压输出常见的故障原因如下：

1）PWM 电路或 MOS 管驱动电路故障。

2）控制器芯片存在故障。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检测时将万用表设置在直流 50V 档，检测 6 路 MOS 管栅极电压是否与转把的转动呈对应关系。如没有对应关系，表示控制器里的 PWM 电路或 MOS 管驱动电路有故障。

2）检测芯片的输入输出引脚的电压是否与转把转动角度有对应关系，可以判断出是哪些芯片有故障。更换损坏的芯片，故障即可排除。

故障 3：无刷控制器断相

现象描述：电动自行车无刷控制器断相。

原因分析：电动自行车无刷控制器断相常见的故障原因如下：

1）主相位断相。

2）霍尔断相。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

1）主相位断相。主相位断相一般是 MOS 管被击穿，即某相位上下两个 MOS 管同时击穿，而造成断相。可用万用表晶体管档对 MOS 管进行检测，若已被击穿，更换即可。

2）霍尔断相。无刷控制器霍尔断相时，控制器不能识别电动机

的霍尔信号。可用万用表直流20V档进行检测，将黑表笔接霍尔引线的黑线，红表笔接其他霍尔引线，观察万用表的读数，若所测电压在5V以下，则说明控制器内部霍尔输出电路有故障。重点检测霍尔引线的滤波电容，若损坏，应更换。若滤波电容正常，则可能是主控芯片存在故障。可用万用表测量主控芯片各引脚电压，当某一引脚电压异常时，再检测与之相关的元器件，即可查找到故障元件。

无刷控制器常用芯片引脚功能见表8-3。

表8-3　无刷控制器常用芯片引脚功能

芯片型号	电源	接地	上管驱动	下管驱动
IR2103	①	④	⑦	⑤
IR2103S	①	④	⑦	⑤
IR2110	③	②	⑦	①
IR2113	③	②	⑦	①
IR2113S	③	②	⑦	①
IR2180	①	⑫	⑩㉗㉘	⑭⑮⑯
IR2181	⑤	③	⑦	④
IR2181S	⑤	③	⑦	④
IR21844	⑦	⑤	⑫	⑥
MC33033	⑭	⑬	①②⑳	⑮⑯⑰
MC33035	⑰	⑯	①②㉔	⑲⑳㉑

故障4：控制器没有电动机驱动电流输出

现象描述：电动自行车控制器没有驱动电流输出，出现电动机不转的现象。

原因分析：引起控制器没有驱动电流输出常见的故障原因如下：

1）供电不正常。

2）操作系统不正常。

3）PWM脉冲形成电路无调宽脉冲输出。

4）信号放大电路未工作。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）供电不正常。供电异常主要有控制器没有供电、控制器内的稳压电路无 5 ~ 18V 电压输出。而有的控制器 5V 电压由芯片（如 TL94）产生。供电电路的检查可用万用表的 20V、50V 电压档测量关键点电压即可。如 5V、12V 三端稳压器异常，也可用一只电阻和一只稳压管组成的简易稳压电压代换。

2）操作系统异常。操作系统异常的原因主要有闸把内开关异常、转把无调速信号输出。而转把无调速信号输出的原因又包括转把内的霍尔集成电路无供电（正常时多为 5V）、霍尔集成电路异常或转把被置于空档等几种。

电动自行车的制动多采用低电平方式，即闸把内的开关在正常行驶时是断开的，只有制动时才接通。当闸把内的开关误动作引起控制器无驱动电流输出时，可采用脱开转把与控制器的连线进行判断。如断开该线后控制器能够输出驱动电流，说明闸把异常；否则，检查其他电路。

3）PWM 脉冲形成电路异常。PWM 脉冲形成电路异常的原因主要有锯齿波脉冲形成电路不能形成锯齿波和 PWM 调制器工作异常。控制器的锯齿波脉冲主要通过由芯片和外接定时组件构成的多谐振荡器产生，所以应检查芯片的供电是否正常，随后再检查定时组件（电阻、电容），最后再检查芯片。

PWM 调制器有时不能正常工作的原因除了不能输入正常的锯齿波触发信号外，更主要的原因是它输入的控制电压不正常。而这些控制信号除了包括调速信号外，还包括欠电压保护信号、过电流保护信号等。因此，在检修时，首先要确认 PWM 调制器输入的锯齿波脉冲触发信号，随后检查它是否输入了保护信号，最后检查芯片。另外，无刷电动机控制器的 PWM 脉冲形成电路是否输出正常的调宽信号，还与电动机内的霍尔集成电路是否产生正常的位置传感信号有关。

4）信号放大电路异常。信号放大电路异常主要有激励电路异常、场效应晶体管异常。当场效应晶体管击穿导致接在其 S 极与地之间的过电流保护电路取样电阻过电流损坏时，会导致信号放大电路不工作。由于无刷电动机采用了 3 套完全相同的驱动电路，所以可采用互代换的方法来判断故障部位和故障组件。

场效应晶体管是否损坏可用数字万用表的二极管档或指针式万用表的 R×1 档在路测量。另外，过电流保护电路采样电阻是否正常也可在路测出。

这里要注意的是，场效应晶体管损坏有时是由于电动机工作异常所致，因此，检修场效应晶体管损坏故障时，必须检查电动机是否正常，以免更换后的场效应晶体管再次损坏。

故障5：电动自行车飞车

现象描述：电动自行车一打开电源锁，即出现电动机高速运转，转速无法控制。

原因分析：电动自行车一般采用 PWM 方式调整速度和执行各种保护功能，其主要执行部件是功率型 MOS 管、续流二极管和优质大容量电容。当 MOS 管被击穿直通后，电动机失去控制，其堵转冲击电流可达数十安培，强制制动在短时间内也可能无法断开熔断器。

分析而言，引起电动自行车飞车常见的故障原因如下：

1）调速转把不起调速作用。

2）控制器损坏。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

首先检查调速转把与控制器 3 根接线是否接错。若接错，应重新连接；若接线正常，说明调速转把有故障，应清洗或更换感光片擦拭感光管。若仍不能排除故障，则应更换调速转把。

若调速转把正常，则应检查控制器。

用万用表的二极管档位检测 MOS 管 3 个引脚，3 个引脚之间应没有短路，否则，说明 MOS 管损坏。更换同型号的场效应晶体管，故障即可排除。

若制动时出现飞车，主要原因是控制器进了水，导致控制器不能断电而造成飞车，因此平时注意控制器不要被雨淋；或用水洗车时，注意控制器不能进水，避免造成线路短路。

为了防止飞车的发生，在设计上应选择优质的关键器件，并且在发生异常时，应能及时处理。如绿源牌电动自行车采用的“紧急熄火开关”装置，可有效防止飞车。

故障 6：电动自行车电动轮毂无法断电

现象描述：电动自行车操作右转把，电动轮毂无法断电。

原因分析：引起电动轮毂不能断电常见的故障原因如下：

1）转把拉线没有回到原来的位置。

2）制动断电开关损坏。

3）控制器烧坏。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）转把拉线没有回到原来位置，可检查拉线软管是否被顶住，若是，将其排除。

2）制动断电开关损坏。

① 对于机械常开断电开关，造成不断电的原因为接触触头弹簧片与触头接触不上，应进行维修，如不能修复，则应更换制动断电开关。

② 对于电子低电位断电开关，只能更换。

故障的快速判断方法是：把控制器输出端线与地线短接起来，如出现断电，说明制动闸把有故障；如不断电，说明控制器有故障。

3）控制器烧坏。把控制器输出端的紫色线与黑色线短接，若不断电，说明控制器有故障，应更换。

故障 7：电动自行车调速失灵或速度偏低

现象描述：电动自行车调速失灵或速度偏低。

原因分析：引起电动自行车调速失灵或速度偏低常见的故障原因如下：

1）电池电压过低。

2）调速转把连接松动或调速转把引线脱落。

3）控制器损坏。

4）调速转把的弹簧卡住或失效。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）检查电池。24V 的蓄电池电压值为 23～26V，36V 蓄电池电压为 35～38V，若不在规定范围内，则应及时充电。

2）检查调速转把。调速转把处电压正常（不欠电压）时，复位

弹簧和调速线断裂会使调速失灵，检测调速把若不能复位自如，应更换；或用万用表对应三芯插座中的红、黑两头检测其电压是否有5V，黑、绿线间电压是否有4.8V（在调速把转到极限时），没有或偏低，也应更换调速把。

3）检测控制器。蓄电池电压正常，则用电动自行车检测仪检测控制器。将控制器的9芯或8芯扁平插头插到检测仪插座中，若控制器输出的电压、电流不正常，则应更换控制器；若正常，说明电动轮毂有故障，应进一步检修。

4）有刷电动机轮毂腔炭粉座积垢太多，会使转速变慢，应清除炭粉，故障即可排除。

故障8：控制器检测不到助力传感器信号

现象描述：电动自行车控制器检测不到助力传感器信号。

原因分析：引起控制器检测不到助力传感器信号常见的故障原因有：

1）助力传感器和磁钢的距离过大。

2）助力传感器输出信号线的故障。

3）控制器内部电源有故障。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

检查助力传感器和磁钢的距离是否为2～5mm，如果距离过大，就没有信号输出，可调整其距离直到合适。

如果调整后还没有信号输出，可再检查助力传感器输出信号线。若正常，应检测助力传感器有无5V电压，若无5V电压，说明控制器内部电源有故障，按控制器无工作电源处理。若5V电压正常，应检测霍尔器件。

故障9：助力传感器不起作用

现象描述：电动自行车助力传感器只在反转时有助力，正转时助力不起作用。

原因分析：导致该现象常见的故障原因主要是：将与传感器对应的磁环方向装反了。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

将磁环箭头方向向着车的骑行方向安装。

传感器及磁环都应该安装在车的右侧，如果由于车型原因，有的厂家把它装在左侧了，则磁环也应该反着装。目前部分电动自行车控制器提供的是 SA 型传感器，具有正反转识别功能，只有在向前旋转时才能给电动机供电，以防反向助力造成不安全。

故障 10：电动自行车电动机以恒定中速转动，不可变速打开电源开关，电动机以恒定速度转动，转速调速转把，电动机转速不变化。

原因分析：该电动机以恒定速度转动，转动调速转把，电动机转速不变，这种故障是由于调速转把上的磁钢脱落而引起的。当调速转把内部磁钢脱落时，导致调速转把输出电压不在 1～4.8V 间变动，却稳定在 3V，使电动机中速转动。

故障检修：拆下并分解调速转把，发现磁钢脱落，清除调速转把内的灰尘，将磁钢用黏合剂粘接到原位。静置 6～8h 后，重新装好所拆各件，打开电源开关，电动机不转。转动调速转把，电动机均匀加速，故障现象消失。

故障 11：电动自行车制动器失灵

现象描述：电动自行车在行驶中需要制动时，握下右闸把很长时间，车轮仍不能停止转动。

原因分析：电动自行车后制动器使用比较频繁，会造成各运动件的磨损。磨损严重时，会影响制动效果，甚至导致制动失灵。经检查发现该车制动凸轮轴磨损，导致制动蹄的张开尺寸不足。

故障分析：修理时，在铆钉头不外露、摩擦片不破损的前提下，可以通过增加凸轮轴厚度来扩大制动蹄的张开尺寸。这种方法既经济又实用，其具体操作是这样的：找块 0.5mm 厚的薄铁皮，用剪刀把铁皮剪成与凸轮轴等宽的条件，长度视摩擦片磨损情况而定，一般以能包绕凸轮轴两圈为宜。包好后，将制动器复位装车，调整好制动器的自由间隙后即可使用。

制动器失灵是逐渐形成的。用户若在行驶时感觉制动性能不良，应及时停车修理，以免发生交通事故，同时因为不同厂家生产的制动器也略有不同，在修理时应该注意区别。

第 9 章　电动自行车充电器常见故障速修要点与技巧

9.1　充电器的检测

一般情况下，充电器故障必须要通过相应的检测才能对其原因进行准确的判断。

9.1.1　充电器的一般检测

1. 检测项目

充电器检测项目有整体功能检测、小单元检测、元器件检测以及线路检测等。

（1）整体功能检测

整体功能检测主要是输出电压、电流、波形、正脉冲、反脉冲强度及其间隔、整体效果，各种控制和保护功能检测等。

（2）小单元检测

小单元检测主要是单元输入和输出回路及其电压电流和采样、调整或控制效果等。

（3）元器件检测

元器件的检测主要是检测集成电路、各种模块、二极管、晶体管、电阻、电容等元器件特性是否符合手册中的标准；经运行一定时间后，元器件性能的偏离程度、阻容变化及其对电路的影响等。

（4）线路检测内容

线路检测的内容主要是工作状态正常与否，负载状态下电压电流的稳定情况，脉宽调制占空比能否由 0～100% 顺利平滑的调整，电路的效率和各项功能是否达到规定指标。

2. 分析电路图

应分析电路由几部分组成，每个部分的功能，元器件在各部分中

的作用。了解电路中使用的主芯片、运算器、放大用的集成电路等器件各脚的用途，弄清输入端、输出端、控制端、电源和地端、周边元器件与各脚的关系等，才能将电路中不同功能区分开来并确定电流、信号的走向。然后，根据故障类型判断故障原因及元器件。

3. 故障检测的原则

一般情况下，电路是由左向右，左为输入，是初端；右为输出，是终端；上为正，下为负；电路图中间分成一个至几个功能单元如检测、综合对比运算、调整、控制指令、执行、保护等。在对电路进行检测之前，应当弄清电路的这些结构和功能单元的区划以及它们之间的关系。

4. 检测方法

1）检查充电器的电源线是否松动、脱落、短路或开路。先检查可能的故障点，如颜色异常、有异味，用手轻轻摆动器件是否有松动，检查电路板背面的焊点等。可用万用表欧姆档检测电源线和插头通断情况。

2）在空载情况下，接通充电器的电源，查看指示灯是否正常。

3）在空载情况下，接通充电器的电源，用万用表直流 50V 电压档检测充电器输出的直流电压是否正常和稳定。

4）在充电器空载通电的情况下，检查充电器壳体是否有过热现象和异味产生，外壳有无烧坏痕迹。空载通电 5～10min，如充电器内部元器件有问题，通过异味或壳体发热便可反映出来。

5）找关键检测点，由后向前逐级带电检测电压、电流。

6）检测电阻两端的压差是否符合要求。

7）电容两端压差是该电路的电压。如果没有电压，则电容已经击穿短路。

8）测稳压器和单独使用的运算器各脚电压。稳压器输出电压大约等于输入加控制电压。

9）检测集成电路。可用万用表电压档检测在工作状态下集成电路各脚的电压，检测结果与同型号正常集成电路比较。也可用万用表欧姆档检测不带电时集成电路各脚对接地脚的电阻值，再与同型号正常集成电路对比，应符合标准值；否则，说明集成电路有故障。集成

电路只能更换不能修复。

例如，脉宽调制集成块 TL494 的在线检测，切记集成块 TL494 的关键检测点：12 脚是供电电源正；7 脚是电源负，也是公共参考地；15 脚是运算放大器 2 的反相输入端，16 脚是运行放大器 2 的同相输入端；1 脚是运算放大器 1 的同相输入端，2 脚是运算放大器 1 的反相输入端；这两个放大器的输出端经二极管“或”接 3 脚，只要 3 脚为高电子，集成块就停止输出；14 脚为 5V，如果没有，基本是集成块损坏，但是有 5V，TL494 也未必是好的。

可进一步利用指针式万用表电阻 R ×1 档提供的 1. 5V 电压，作为电压比较器翻转的触发电源，在线粗略判断 TL494 的好坏，具体操作方法如下：

将数字电压表接 3 脚和地，注意电压变化；将 16V 直流电源正极接 12 脚，16V 负极接地，检查无误后给 16V 直流电源通电；然后将指针式万用表置 R ×1 档，将黑表笔接 16 脚，将红表笔接 15 脚，这时，运算放大器 2 的输出应为高电子，反映在 3 脚为 5V。同理，将指针式万用表黑表笔接 1 脚，将红表笔接 2 脚，这时，运算放大器 1 的输出应为高电平，3 脚也应为 5V。如果符合上述情况，可以基本确定 TL494 是好的，否则说明集成块是坏的。

10）检测充电器的充电参数。检测充电器的充电参数时，是将已放过电的蓄电池、直流电压表、直流电流表和充电器，按照图9-1 所示方法进行连接。之后，接通 220V 交流电源，立即测量充电电流和电压，并做好记录。再逐渐调节可调电阻，使滑动端向右方慢慢

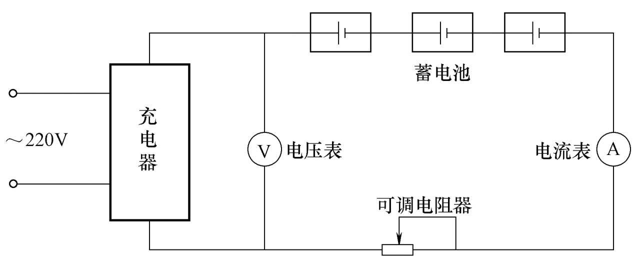


图 9-1　充电器参数的检测

移动使阻值增大，并观察电流、电压的变化，且做好记录，直至充电器显示电量充足或终止充电为止。根据检测的数据描点作图，再与充电器要求的充电参数对照，即可判断充电器的充电参数合理与否。

9.1.2　充电器正常与否的快速检测

充电器正常与否快速检测方法如下：

1）检查充电器指示灯是否正常。

2）检查充电器是否有异味或有烧坏痕迹。

3）用万用表检查充电器电源线是否短路。

4）用万用表检查充电器的电压是否正常。

9.2　充电器故障的检修思路

本节，我们具体来了解充电器故障的特点。

9.2.1　充电器故障的特点

电动自行车充电器大都采用了开关电路，电路中设置了稳压稳流、自动调节的控制和保护功能，并采用了脉冲充电。

开关电路充电器的故障主要有以下 3 种。

1. 充电器高压故障

充电器的开关电源部分工作在高压、大电流状态，过电压、过电流易使这部分元器件产生故障，主要表现为指示灯不亮。导致该类故障的原因大多是熔断器的熔丝管爆裂熔断，整流二极管击穿短路，滤波用的电解电容器鼓包或炸裂，开关管击穿损坏，起动电阻烧损开路，脉宽调制集成电路的电源引脚短路等。

一般情况下，当低压主电路存在漏电、短路或集成电路输出端输出的脉冲波形异常时，也会烧毁开关管。

2. 充电器低压故障

充电器低压故障的主要表现为红色指示灯一直亮，而绿色指示灯不亮；输出电压低，或者输出电压接近 0V，使蓄电池欠充或不能充电。导致该类故障的原因大多数是由于充电器与蓄电池正、负极接反，造成双运放集成电路（大多是 LM358）击穿。

3. 充电器的高低压混合故障

此类故障的检查比较麻烦，故障表现也多种多样。遇到此类故障时，应首先全面检测所有的二极管、晶体管、场效应晶体管、光耦合器、电解电容器、电源厚模块及稳压二极管是否正常；再分别对高压电路和低压电路进行详细检查。通常情况下，大面积烧毁大功率元器件，是因低压电路所造成的。因此，在检修高低压温合故障时，应注意因果关系。

检修时可检查外观有无明显损坏，如线路板有无折断（随车携带和摔碰造成的），熔丝有无烧断，电阻有无烧坏痕迹，电容有无炸裂。可用指针式万用表相应的欧姆档，在线全面检测所有的二极管、晶体管、光耦合器（如4N35）、场效应晶体管、电解电容、集成电路，尤其是低压主整流（如16A/60V，快恢复二极管）、市电整流波电容和低压主滤波电容等。

一般情况下是因为低压电路短路引起大面积烧坏功率元器件所致。有一部分充电器输出端具有防反接、防短路等特殊功能，就是在输出端多加一个继电器，在反接、短路的情况下继电器不工作。

9.2.2　充电器故障的快速检修方法

充电器的故障诊断与检修时，在不具备检测仪表的情况下，可以采用“一看、二听、三闻、四摸”的快速检修方法。这里主要是针对开关电源式充电器。

1.“看”

“看”主要有以下内容。

（1）查看充电器电路的元器件有无损坏痕迹

应重点查看在高压电路部分的元器件。因开关电源充电器是工作在高频电压、大电流工作状态，功率开关晶体管又是接在300V直流高压下，当其中一只开关晶体管击穿短路时，会产生连锁反应，使与之相连或接近的电阻、二极管损坏。此时损坏的元器件表现为变色、变形、爆裂等。如两只开关晶体管均击穿短路时，将使整流桥击穿，交流输入端的熔丝管熔断爆裂、焦黑，滤波电容器也可能因短路电流过大、电压过高而击穿爆裂、漏液。另外，查看与高压线路相连的电阻，也容易损坏。当电压过高时，与高压线路相连的电阻将出现焦黄

或裂纹，电阻阻值变大或开路，造成工作不稳定。通过查看元器件的外表和周围，可以大致判断有无元器件损坏。对外表异常的元器件予以试换，如元器件损坏，更换后故障即可排除。

（2）查看有无断线、虚焊和短路

应检查印制电路板的焊接面焊点和铜箔有无划伤、裂痕，铜箔是否因短路电流而烧断；焊盘间有无短接，焊点是否饱满光亮，有无虚焊，元器件有无断脚或引脚相碰等。

（3）通电试机（但不宜时间过长），查看有无元器件冒烟

如一次未看清是哪个元器件冒烟，应先关机，过一会儿再开机观察，同时应查看印制电路板上有无焦黄或焦黑痕迹。所有这些查看都有益于故障诊断，并判断故障所在。

2. “听”

充电器电路为开关电源，当电压过高或电流过大导致开关晶体管、滤波电容、限流电阻及熔丝管等工作在高压部分的元器件损坏时，会发出“爆竹声”，这说明开关电源有短路或电压过高故障，损坏的元器件将爆裂、焦黑或漏液等。在“听”时，加电试验一定要注意安全，以防伤人。

当开关电源发出“嗒嗒”声时，一般开关电源本身无故障，大多是负载严重短路，导致开关电源间歇振荡，即刚要振荡却被保护，又振荡，又被保护，如此反复。同时，开关电源指示灯将忽亮忽暗地闪动，充电器的风扇忽转忽停。此时，应重点检查负载电路。

电源锁电路出现故障时，一般会听到的异常声响有爆竹声、“嗒嗒”声及呼啸声等。正常开关电源工作时没有任何声响，带有风扇的充电器只有轻微的风扇声。

3. “闻”

在充电器开关电源中的高压，大电流电路有发生故障的前兆或发生故障时，过电压或过电流元器件由发热至烧坏的过程虽短暂，但会发出焦煳味，如闻到异常气味应立即关机检查。在烧坏过程中，电阻发出煳味，二极管、晶体管会发出焦味，电解电容器会发出爆玉米花味，电磁线圈会发出油漆味等。依据不同的气味，可判断哪些元器件将被烧坏或已烧坏。

4. “摸”

“摸”是指用手触摸大功率元器件（如功率晶体管、二极管、电阻、电解电容、集成电路和变压器）的表面。如发现某元器件过热时应立即关机检查。某元器件发热并不一定是该元器件本身就有问题，如集成电路过热发烫时，大多是输出端负载过重或短路造成的。因此，集成电路及功率晶体管的过热发烫，应先检查其周边电路元器件有无故障后，再确定它们损坏与否。开关晶体管的外壳是集成电极，其上有300V左右的高压电，手摸时必须小心不要触电，切忌用潮湿的手触摸。为确保触摸安全，最好断电后立即进行手摸，如温度高不会降下来，可以反映真实情况。

9.2.3　充电器故障的检修步骤

根据以上所讲充电器故障的快速检修方法，可总结出充电器故障检修的一般步骤。

目前，电动自行车蓄电池充电器电路主要有两种方式：一种是工频变压器降压加控制电路方式；另一种是开关电源AC-DC转换器方式。其中，以使用开关电源AC-DC转换器式充电器为最多。AC-DC转换器方式充电器电路原理图如图9-2所示。

开关电源AC-DC变换式充电器输入电压为220V/50Hz，输出电压为44V，最大充电电流为1.8A，浮充充电电流为100mA。

当充电器出现故障时，可按以下步骤进行检修：

第一步：观察法检修。

打开充电器，观察内部电路有无异常变化，如熔丝是否烧断，开关管、电阻是否变焦或破裂，电容是否漏液或胀裂，电路板焊点是否有假焊，导线是否折断或脱落。若有，应进行检修，更换损坏的元器件。

第二步：温度测试法。

插上充电器的电源插头，使充电器充电，待15min后拔下电源插头，用手感觉印制电路板的温度，正常时应有微温感，如没有任何感觉，则说明充电器已损坏。

第三步：电阻测量法。

用万用表测量充电器的电路电阻和组件的电阻值。重点检查电源

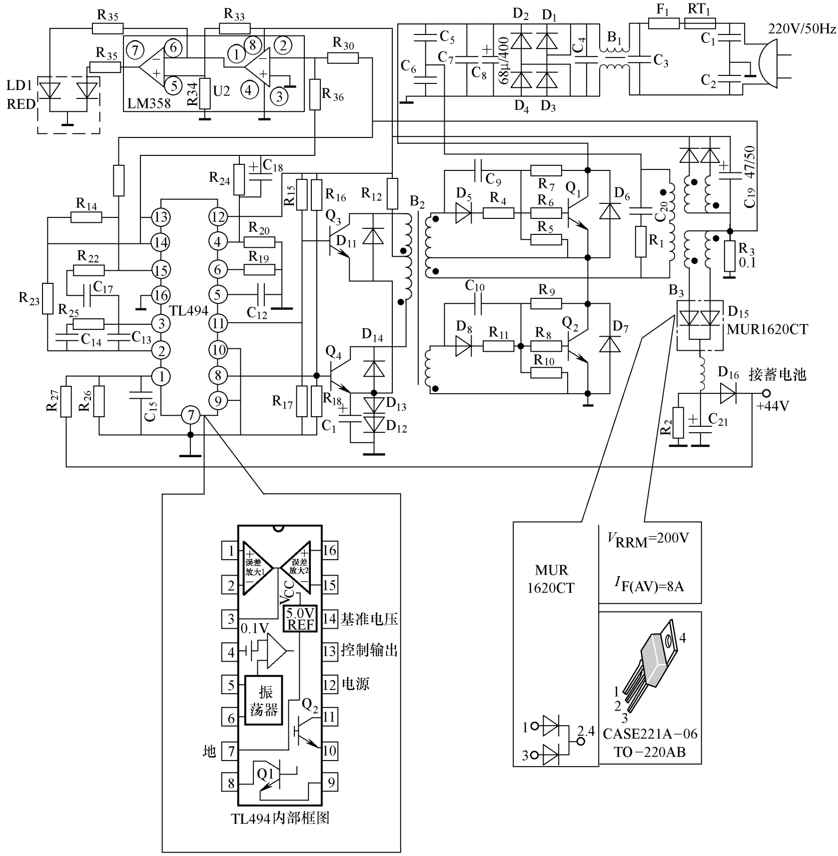


图 9-2　AC-DC 转换器方式充电器电路原理图

整流二极管的正向电阻，开关管的基极回路的阻容器件的电阻值。再与正常参数进行比较，若不一致，则说明充电电路存在故障。

第四步：波形观察法

用 20V 左右的直流电源接在开关电源集成电路 TL494 电源两端（⑩、⑦脚），用示波器观察脉宽调制电路输出引脚（⑬脚）有无、50kHz 方波输出，若无，则为集成电路 TIA94 损坏；若有方波输出，表明脉宽调制集成电路正常。

若 TL494 正常，再测量推挽驱动管集电极的波形。若波形不是

方波而是产生了畸变，或两波形不一致，则说明推挽驱动管有一只已损坏。若波形为方波且一致，表明推挽驱动电路是正常的。

若以上检查均正常，再测量开关管的基极有无方波（正常时应有方波）。若无，则可能是开关管基极电路有元器件损坏。应拆下这些元器件逐一检测，并更换损坏的元器件。

第五步：电压测试法。

用万用表对开关变换电路进行电压测试。先关闭脉宽调制电路 TL494 的外接电源，从主电源处接入低压电源。一般用调压器输出交流电压 40V 左右。通电后，测量整流电路的输出电压，若输出的直流电压大于 40V，则说明整流电路正常，开关管无短路故障；若输出电压较低或根本无电压输出，则表示整流电路或开关管存在故障。应重点检查熔丝、整流二极管是否损坏，滤波电容和开关管是否被击穿。

在确定整流电路输出电压正常后，接通脉宽调制电路 20V 直流电源和主电路 40V 交流低压电源，测量开关管的发射极、开关变压器的⑦、⑧脚的方波波形，同时用手触摸开关管的温升情况。若波形有畸变，开关管发热，则表明开关管有故障。若波形有畸变，开关管不热，则检测二次整流输出 40V 端输出电压，正常时应为 9V，若该电压正常，则说明整个电路基本正常。

9.3　常见充电器故障的检修举例

我们知道，目前电动自行车多采用开关电源式充电器充电，下面所列举的各种充电器故障主要是针对开关电源式充电器而言的，而且适用于各种型号的开关电源式充电器。

故障 1：充电器烧坏

现象描述：电动自行车充电器一充电就被烧坏。

原因分析：引起充电器烧坏常见的故障原因如下：

1）蓄电池连接故障。

2）充电器连接故障。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

出现充电器一充电就被烧坏的故障时，首先应检查蓄电池连接是否接反，蓄电池插座极性是否接反，连接线是否短路，充电器极性是否接反，蓄电池过放电后转极等情况。

若蓄电池充电反极，则应先放完电，再充电 15 ~ 18h；当电压正常后，再作放电检查，反复进行 2 ~ 3 次，容量恢复后便可使用。如果容量不足 84% 时，则应报废。

故障 2：充电器没有电流输出或整流不稳定

现象描述：电动自行车充电器没有电流输出或整流不稳定。

原因分析：引起上述现象发生常见的故障原因如下：

1）没有电流输出，原因是蓄电池盒内熔丝管熔断、元器件损坏，引脚开焊等。

2）整流不稳定，引脚虚焊，接触不良。

3）整流管单桥臂断路。

4）滤波电容开路、开焊、失效等。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）先检查可能的故障点，如颜色异常、有异味，用手轻轻摇动器件是否有松动，检查电路板背面的焊点等。

2）找关键测点，由后向前逐级带电检测电压、电流。

3）检测电阻两端的压差是否与计算值相符。

4）电容两端压差是该电路的电压。若无电压，说明电容已经击穿短路。

5）检测稳压器和单独使用的运算器各引脚电压。稳压器输出电压大约等于输入电压加控制电压。

6）前级良好，后级异常，其主要原因是中间电路有故障，如稳压管或功能电路工作失常。若稳压管正常，说明检测电路、调整电路中的元器件失效等。

更换上述损坏的元器件，故障即可排除。

故障 3：充电器不充电

现象描述：电动自行车充电器不充电，指示灯也不亮。

原因分析：引起充电器不充电常见的故障原因如下：

1）蓄电池盒内蓄电池的连接线脱落。

2）充电器与蓄电池盒相连的插头松动。

3）充电器损坏。

4）蓄电池氧化。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修：

1）充电器插头、插座脱落或松动，导致接触不良，紧固插座和插件即可。

2）充电器或蓄电池组熔丝熔断，造成充电器各指示灯不亮，更换充电器或蓄电池的熔丝。

3）充电器熔丝正常，可用万用表检测充电器输出端电压，若无电压，说明充电器有故障，则应检修或更换充电器。

4）充电器不合要求，则应更换充电器。

5）蓄电池组接线脱落或老化。在熔丝正常的情况下，用万用表检测蓄电池组端电压，如无电压输出，说明蓄电池组接线脱落或蓄电池损坏，应重新接线或更换蓄电池组。

故障4：充电器充电电压过高或过低

现象描述：电动自行车充电器电压过高或是过低。

原因分析：这种充电器的部分电路如图9-3所示，由4个晶体管、2个电位器、1个二极管、1个稳压管和若干电阻电容组成。

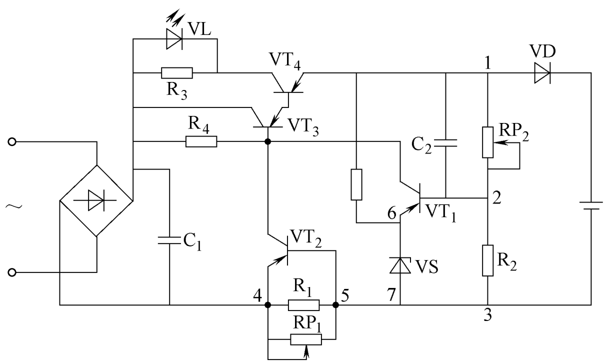


图9-3　充电器部分电路图

引起充电器充电电压过高或过低常见的故障原因如下：

1）电路末端由 R_2、RP_2 组成的分压器工作不正常，电阻变值或电位器接触不良。

2）基准电压过同或过低。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

首先带负载调整电位器 RP_2，使 VT_1 基极偏压准确。若调整无效，则应检测电阻 R_2 阻值是否有变化。若有变化，则更换；若无变化，再检查 RP_2。若调整不准或接触不良，则应更换。

具体检测方法是：测试时将 RP_2 调到最大，测分压器两端（1、3 两点间）、R_2 两端（2、3 两点间）、RP_2 两端（1、2 两点间）电压和电流，计算电阻是否符合标定值，否则，应更换。

故障 5：充电器严重发热

现象描述：充电器严重发热，且有异常的响声。

原因分析：引起充电器发热且伴有异常响声常见的故障原因如下：

1）消振阻容组件损坏或者是滤波电容开路或虚焊。

2）电源厚膜块损坏。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

首先观察电源指示灯和充电指示灯是否正常；如两种指示灯很暗且闪烁，则可能是充电器电路输出级消振阻容组件损坏或者是滤波电容开路或虚焊引起。而灯光闪烁，一般是电源厚膜块损坏。应逐一进行检查，并更换损坏的组件。

故障 6：充电器严重变形

现象描述：电动自行车充电器外形发生变形。

原因分析：引起充电器外形发生变形，一般是充电器严重发热引起的，说明电路存在严重的短路故障。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

应重点检查大滤波电容、电源管和整流二极管是否损坏。如损坏，更换即可。

故障7：充电器充不满电

现象描述：电动自行车充电器给蓄电池充不满电。充电器工作一段时间即自行停止，没有电流和电压。

原因分析：充不满电的主要原因一般是电路问题，大都是焊点虚焊，接触不良或元器件失效等。这种故障在常温状态下正常，温度升高后开始显现，有时逐渐出现，有时是突然出现。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

首先，应检查充电器插接是否有松动，如有，重新插好即可。

如插接没有问题，应逐一查找故障点，如充电器颜色异常、有异味，用手轻轻摇动元器件是否有松动，检查电路板背面的焊点等。如有元器件损坏，更换即可。

故障8：充电器输出部分铜箔烧断

现象描述：电动自行车充电器输出部分铜箔被烧断。

原因分析：这种故障一般是由于蓄电池正负极反接造成的。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

首先，应该先检查充电器熔丝。如正常，则应检查电源厚膜块和保护电路，将断铜箔连上可恢复正常；如熔丝被熔断，则需要进一步检测后逐一检查大功率电路和保护电路。如组件损坏则应更换。

故障9：充电器显示不正常

现象描述：电动自行车充电器充电时发光管不亮或已经充满而不变颜色。

原因分析：蓄电池充足电后，充电器应当有显示，一般是红色变绿色，有的是绿色变黄色，表示蓄电池基本充满。如果蓄电池在充电时发光管不亮或已经充满而不变颜色，说明充电显示有故障，多数表现为发光管不亮。

故障检修：根据故障原因的分析，可按以下方法进行检修。

发光管不亮的原因大多是发光管本身问题或线路问题。对发光管进行检测，若损坏，更换即可。

故障 10：充电器充电时电源指示灯亮，充电指示灯不正常

现象描述：型号为 ST0.02 的充电器充电时电源指示灯发光正常，当接上蓄电池充电时充电指示灯为橙色，和未接蓄电池时一样，且充电十多个小时后蓄电池内电量没有增加。

原因分析：引起上述现象的原因有以下几点。

1）充电器输出插头与蓄电池盒充电插头接触不良。

2）蓄电池盒内熔断器与熔断器座接触不良或损坏。

3）充电器输出连接线损坏。

故障检修：加电后，用万用表直流电压档测得充电器输出电压正常，表明充电器无故障。经检查发现充电器输出插头与蓄电池插头之间接触良好。当检查蓄电池内熔断器时，发现熔断器与熔断器座松动，导致接触不良。

将熔断器座上的弹簧夹向中间压挤以增加其弹力，然后装上熔断器，加电试验，故障排除。

故障 11：充电器充电时充电指示灯亮，但不能充电

现象描述：天能 TN-1C 型充电器接上电源后，充电指示灯亮，但不论接上蓄电池充电时间多长，蓄电池电量基本仍与充电前一样。原以为是蓄电池与充电器连接处有故障，结果对充电器输出插头和蓄电池盒充电插孔进行处理，使它们接触良好。经多次充电试验，故障现象依旧。

原因分析：该充电器电路如图 9-4 所示，引起上述现象的原因有以下几点：

1）充电器连接损坏使充电输出电压加不到蓄电池上。

2）若开关管 VT_1、VT_2 中的一只损坏或引脚脱焊，会引起充电器输出电压过低。

3）开关管基极电路元器件损坏。

4）推挽管 VT_3、VT_4 中的一只损坏或引脚虚焊。

5）二次侧共阴极整流管损坏。

故障检修：通电后，用万用表的直流电压档测得充电器输出插座无电压。切断电源，经检查发现开关管 VT_1、VT_2 均正常，当检测 VT_1、VT_2 的基极回路元件时发现电阻 R_6 损坏。更换电阻 R_6 后，故障排除。

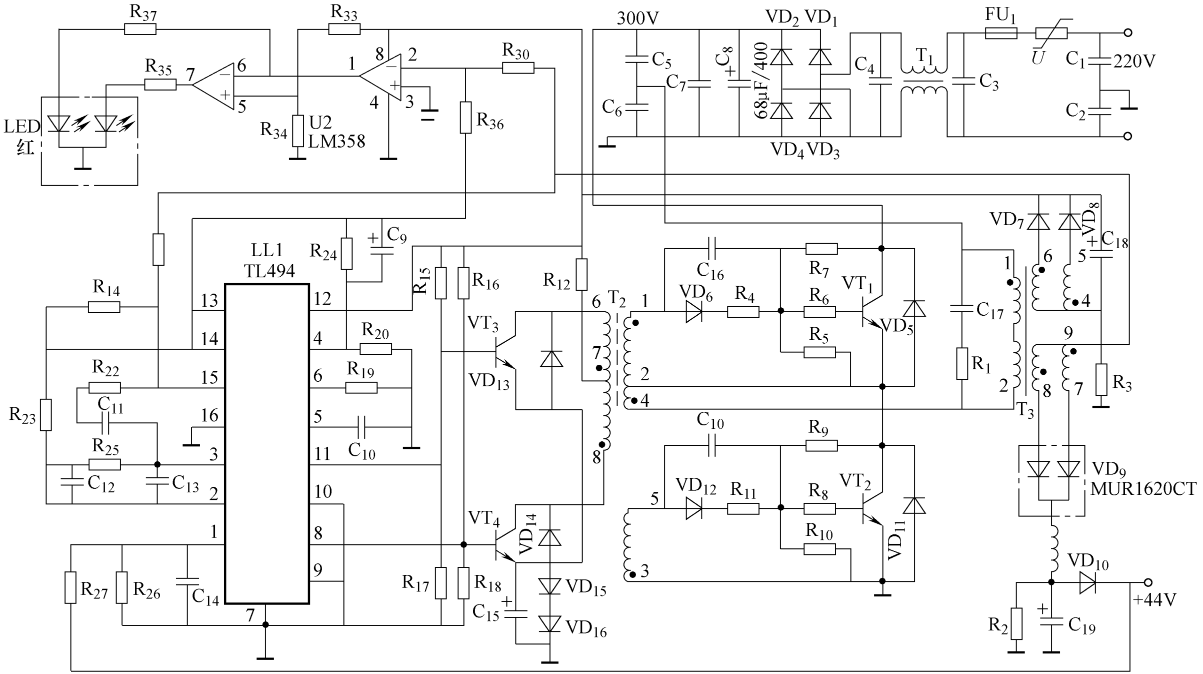


图 9-4　天能 TN-1C 型充电器电路

第 10 章　电动自行车故障实例图解

故障 1：电动自行车打开电源开关，无刷电动机不转

现象描述：车动力逐渐下降，续行里程缩短，以致中途抛锚，电动机不转，但仪表上电源指示灯能正常发光。

故障检修：

1）首先打开电源开关，拆开控制器，如图 10-1 所示。找到接线端子，测得控制器红色电源输入线的对地电压，如图 10-2 所示，测



图 10-1　控制器在车身位置

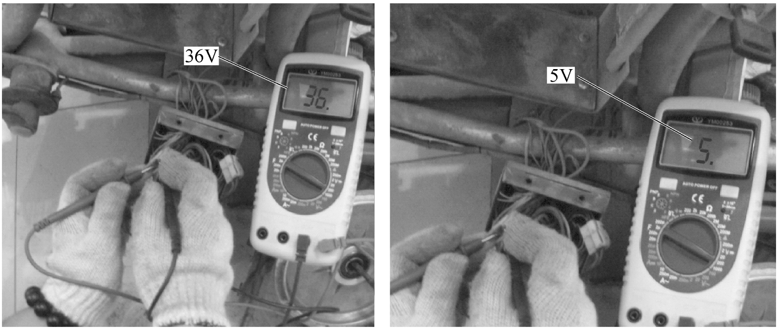


图 10-2　检测控制器电源输入、输出电压

得为 36V，控制器的输出电压为 5V，均正常。

2）分别将左、右闸把引线从插接器处拔下，如图 10-3 所示。故障依旧。

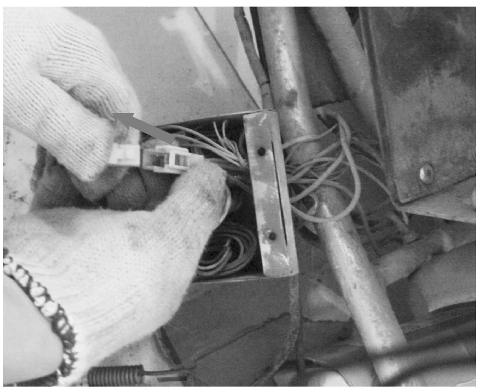


图 10-3　拔下闸线接线端

3）测量调速转把信号线的输出电压，在转动调速转把时有 1 ~ 4.5V 的电压变化，表明调速转把正常。

4）用万用表直流电压档测得电动机与控制器的两根连线间的电压为 30V，属正常，表明控制器也正常。

5）最后，将电动机与控制器间的插接器拔下，用万用表 R ×1 档测，如图 10-4 所示。测得电动机两根引线间的电阻较大且不稳定，

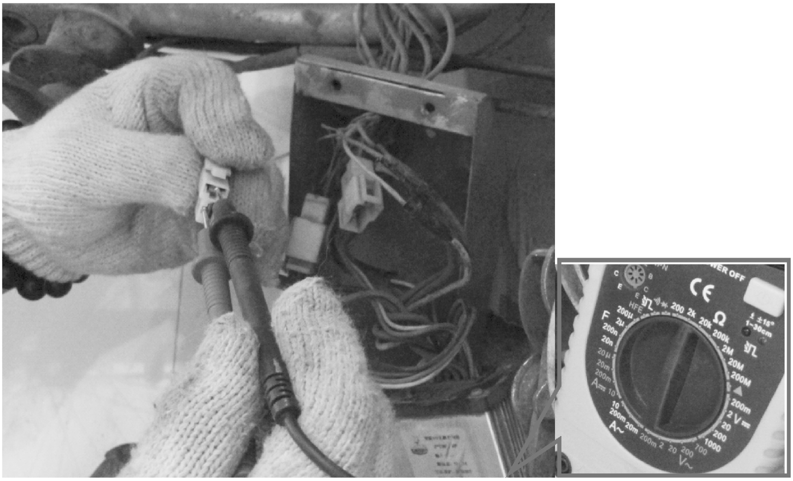


图 10-4　用 R ×1 档测量电动机与控制器间的电阻

表明电动机有故障。

6）打开电动机轮毂，发现电刷严重磨损，如图 10-5 所示，换向器表面也有较多炭粉和铜粉。

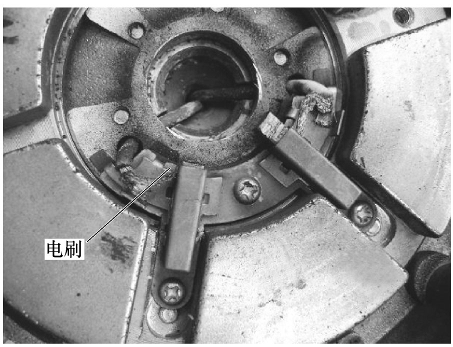


图 10-5　电动机内部

提示：

该电动自行车仪表指示灯亮，而电动机不转，说明故障不在电源电路。其原因有：闸把开关损坏，调速转把损坏，控制器异常，电动机控制电路中某插接器接触不良或某处断路，电刷严重磨损，电刷在

刷架内卡死，电刷引线接触处松动和换向片大面积短路等。

本例故障的原因是换向器和线圈有异物并且电刷磨损，使换向片短路，从而导致电动机无法转动。

故障2：转动转速把，电动机不转

现象描述：打开电动自行车电源开关，转动调速转把，电动机不转动。

故障检修：

1）首先打开电源开关，测得控制器的电源输入电压正常，如图10-2所示。

2）接着检测闸把开关和调速转把上的5V电源电压，也均正常。

3）拔下闸把开关接线，如图10-6所示，测量未发现异常。



图10-6　拔下闸把开关接线

4）转动调速转把，如图10-7所示，测得控制器输出电压（即电动机输入电压）为零。

5）更换一只同型号的控制器后加电试验，电动机依然不转，只好取一只调速转把接上加电试验，转动调速转把，电动机正常转动。

6）换回原控制器并装好，再次加电试验，一切正常，表明原调速转把损坏。

提示：

检查这只损坏的调速转把，发现是因使用时间长，内部磁钢退



图 10-7　转动调速转把

磁，导致调速转把输出信号线电压较低。

故障 3：有刷电动机转动缓慢并伴有发热现象

现象描述：电动自行车有刷电动机转动缓慢并伴有发热现象。

故障检修：

1）首先将电动机与控制器间的正、负极引线从接线端子处拆下（此操作只需按照该车电路图即可完成，此处不再图示，以后无图示处，皆不再标明）。

2）用万用表的电阻档测得电动机正、负极间的电阻为 0.8Ω，如图 10-8 所示。

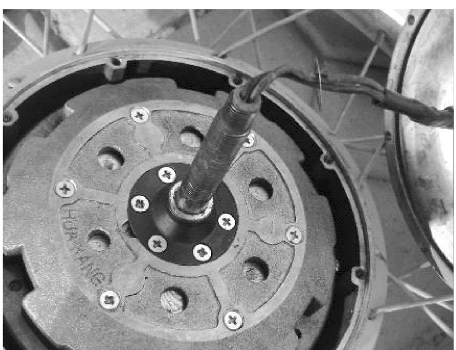


图 10-8　测量电动机正、负极间的电阻

3）转动电动机，所测电阻基本与上述阻值接近，则表明电刷与换向器接触良好，不存在换向器脏污或烧蚀现象。

4）测量电动机正极或负极引线与地线间的电阻，如图 10-9 所示，发现绝缘电阻只有 2kΩ，表明电动机绕组绝缘电阻过小。

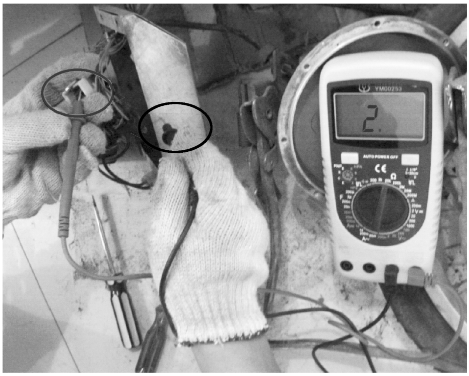


图 10-9　测量电动机正、负极与地线间的电阻

5）拆解电动机，如图 10-10 所示，发现绕组比较潮湿。

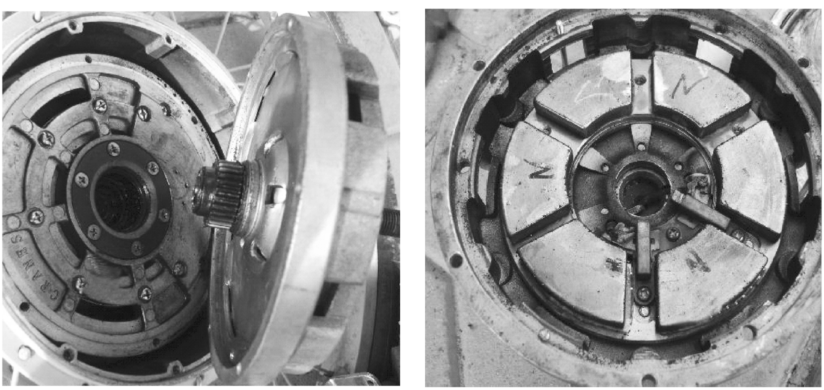


图 10-10　拆解电动机

6）将电动机绕组烘烤 15 ~ 18h 后，测得其绕组绝缘电阻为 6MΩ。

提示：

一般引起电动机转动缓慢且端盖烫手的原因有：发动机绕组的绝缘电阻过小、电动机绕组短路、换向器严重积炭、电动机磁钢脱落或磁钢磁性减弱等。

电动机工作 30min ~ 1h 时，其端盖温度超过环境温度 25℃以上，则表明电动机温升已超过正常范围。一般电动机温升应在 20℃以下。

本例故障原因是电动机绕组的绝缘电阻过小。

故障 4：有刷电动机空载电流过大，不能达到最高转速

现象描述：电动自行车有刷电动机空载电流过大，不能达到最高转速。

故障检修：关闭电源开关，前后转动电动机时感觉轻松，则表明电动机轴承正常，电动机转子未扫膛，磁钢未脱落（磁钢脱落后转动时会发出不正常的异响），说明故障在电动机内部。

1）拆检电动机，发现换向片严重污损。

2）于是用万用表 R × 1M 档测得换向片与转子铁心间的电阻为 2. 1MW，表明电动机绕组绝缘电阻正常。

3）检查绕组时也未发现短路现象。

用刮刀除去相邻换向片间的异物，同时用砂纸将换向片表面打磨光滑（见图 10-11），并用毛刷清除换向片及绕组上的异物。



图 10-11　用砂纸打磨

提示：

一般造成上述故障的原因有：电动机转子扫膛、电动机轴承转动不灵活、电动机磁钢脱落、电动机绕组匝间短路、换向片被炭粉和铜粉短路。

本例故障的原因是相邻换向片间及绕组有异物。36V 电源正常时空载电流为 0.6～0.8A。各种电动机正常时最大极限空载电流参考见表 10-1。

表 10-1　各种电动机正常时最大极限空载电流参考表

电动机形式	额定电压 24V	额定电压 36V
侧挂电动机/A	2.2	1.8
高速有刷电动机/A	1.7	1.0
低速有刷电动机/A	1.0	0.6
高速无刷电动机/A	1.7	1.0
低速无刷电动机/A	1.0	0.6

故障 5：电动机有“嗡嗡”声，但不能转动

现象描述： 无刷电动自行车的电动机有“嗡嗡”声，但不能转动。

故障检修：

1）先支起电动自行车主支架，将后轮向后转动困难，如图 10-12所示，向前转动较为轻松，表明磁钢脱落。拆下轮毂，发现一块磁钢脱落。

2）清理电动机内的异物，重新粘接磁钢，故障排除。

提示：

电动机磁钢脱落时，电动机转动会有轻微的摩擦声，电动自行车不能转动，表明脱落的磁钢卡在定子与转子之间。电动机有“嗡嗡”声，表明电动机正在通电。发现该故障后要及时关闭电源开关，避免电动机绕组损坏。



图 10-12　后轮向后转动困难

故障 6：无刷无齿电动机转动时有异响声，且随电动机转速的增加而加剧

现象描述：电动自行车的无刷无齿电动机转动时有异响声，且随电动机转速的增加而加剧。

故障检修：

1）支起主支架，转动调速转把，如图 10-13 所示，使电动机转动，电动机发出“哒哒”的声音，发现转速越高响声越大，并伴有振动现象。

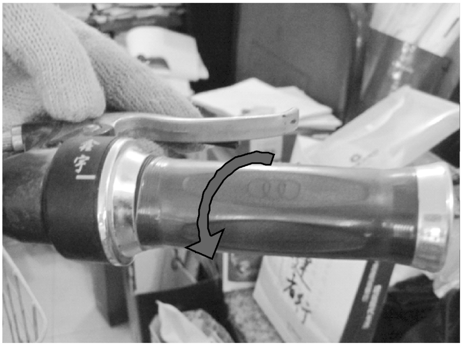


图 10-13　转动调速转把

2）将电动机与控制器相连的 5 根霍尔线从插接器处拔下，将万

用表的黑表笔接地，红表笔分别接霍尔蓝、绿、黄 3 根相线并测量电阻，如图 10-14 所示。所测 3 根霍尔线的电阻基本相同。

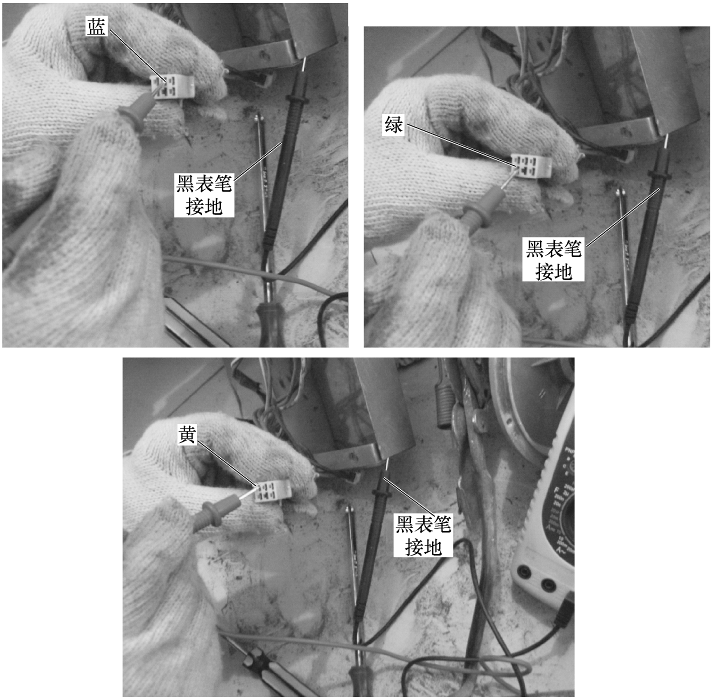


图 10-14　黑表笔接地，测蓝、绿、黄线电阻

3）当将红、黑表笔对调（见图 10-15）再测量时，所测蓝色线的电阻与其他两根线的电阻相比明显偏小，表明蓝色线所连的霍尔元件有故障。拆开电动机检查，发现与蓝色线相连的霍尔元件损坏。

4）为了确保无刷电动机换向准确，将 3 个霍尔元件同时更换。

5）首先将霍尔元件引线从电路板上拆下，然后将霍尔元件从定子上凿下，清理凹槽内部，特别是要确保霍尔元件的准确安装。

6）接着将 3 个引脚焊在焊盘上，并剪去多余的引脚。

提示：

造成该车有异常响声的原因有以下几点：

1）控制器异常或控制器输入信号极性相反，导致通电骑行时电动机发出有规律的“咯啦”声，且有较大的振动。

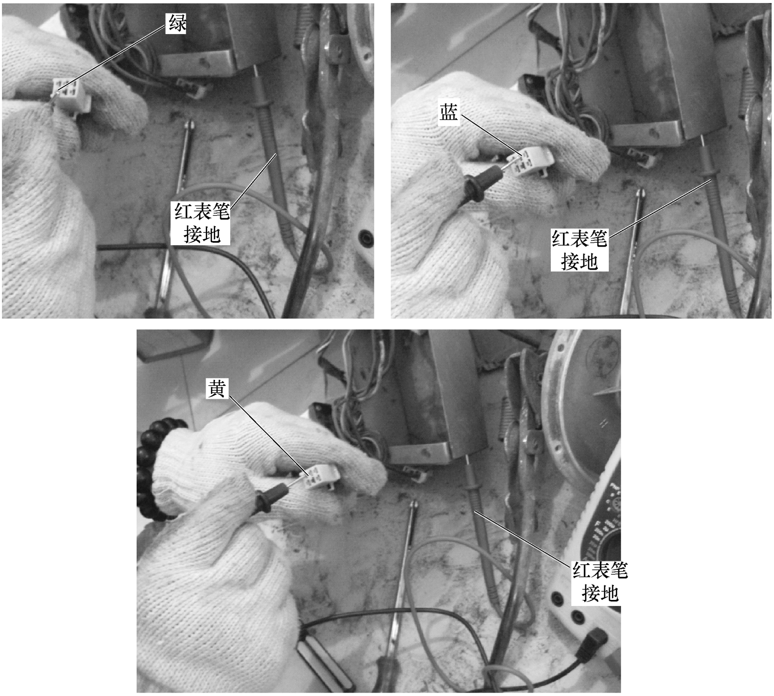


图 10-15　将红、黑表笔反接

2）电动机轴承润滑不良或损坏，转动时会发出“哗啦、哗啦”声。

3）电动机磁钢脱落，发出“吱吱”的摩擦声。

4）电动机轴变形弯曲，导致转子磁钢与定子铁心发生碰撞。

本例故障是霍尔元件损坏造成的。

故障 7：有刷电动机飞车，握下闸把时后轮仍高速转动不停

现象描述：电动自行车有刷电动机飞车，握下闸把时后轮仍高速转动不停。

故障检修：

1）首先打开电源开关，电动机飞速转动，手握闸把，电动机仍高速运转。检查闸把开关引线，如图 10-16 所示。如未发现短路或断

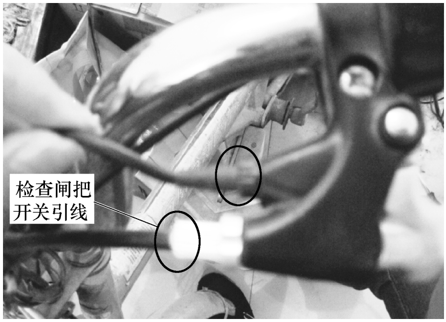


图 10-16　检查闸把开关引线

路，表明控制器损坏。

2）检查发现控制器内的功率管（见图 10-17），发现已损坏。



图 10-17　控制器内的功率管

3）更换功率管后，装回控制器。电动机运行 20min 后，控制器发热严重，如图 10-18 所示。

4）关断电源，将电动机与控制器相连的正极和负极引线从接线处拆下，用万用表电阻档测电动机正极与负极间的电阻，边转动电动机边测量，其电阻时大时小，表明换向器与电刷接触不良。

5）拆解电动机，发现电刷磨损，并且接触不良。

6）更换电刷，并用细砂纸打磨换向器后，装复试机，故障排除。

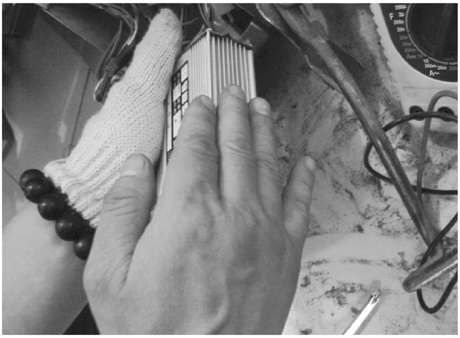


图 10-18　控制器外盒发热

提示：

当电动机中的换向器与电刷接触不良时，将产生高压脉冲而击穿控制器中的功率管，从而出现上述故障。

故障 8：电动自行车蓄电池充足电后，行驶里程严重缩短

现象描述：蓄电池充足电后，最多只能行驶 10km。

故障检修：

1）用同型号充电器以 10h 率的电流向蓄电池充电 12h 后，浮充 2～3h。

2）进行骑行试验，故障依旧，表明原充电器正常。

3）用蓄电池容量测试仪检查，发现有一只蓄电池单体容量严重下降，表明蓄电池组中各单体蓄电池容量不均衡。

4）将容量减小的蓄电池的电解液吸出，如图 10-19 所示。

5）向蓄电池内加入适量的蒸馏水静置 1～2h 后吸出，如图 10-20所示。

6）如此反复 2～3 次，如图 10-21 所示，最后加入标准电解液。

7）用充电器以 10h 率的电流充电 14h，如图 10-22，静置 2h 后，再用 2h 率的电流进行放电，如图 10-23 所示，反复 2～3 次。

提示：

电动自行车 12V 蓄电池的放电电压在 10V 以上为电压正常。12V/7A・h 以上的蓄电池充足电后，放电电压应在 11V 以上，当电压降到 9V 时，表示充电不足。

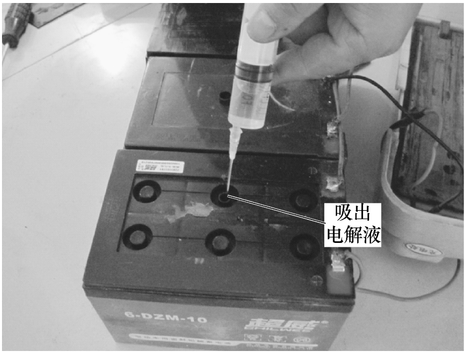


图 10-19　吸出电解液

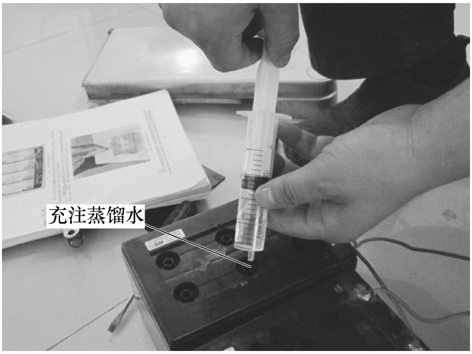


图 10-20　充注蒸馏水

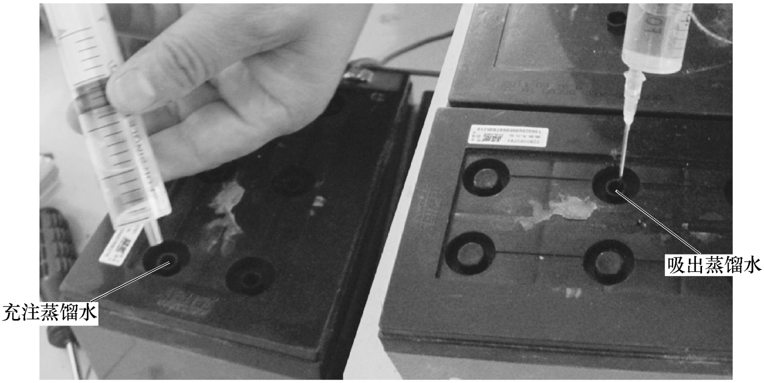


图 10-21　反复充注蒸馏水、吸出蒸馏水



图 10-22　恒流充电

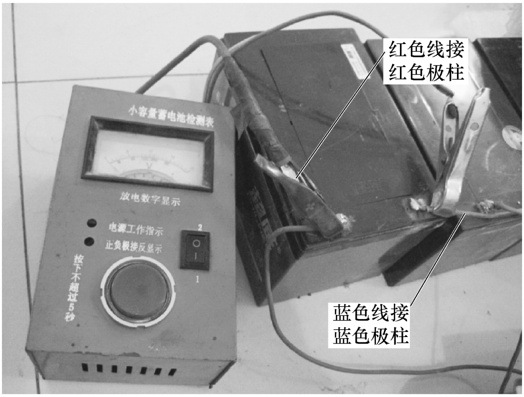


图 10-23　恒流放电

故障 9：电动自行车在行驶中突然无力而停车，仪表盘内的欠电压指示灯也不亮

现象描述：电动自行车在行驶中突然无力而停车，仪表盘内的欠电压指示灯也不亮。

故障检修：

1）检查电源回路的连接线接触良好，插接器处无松动现象，如图 10-24 所示。

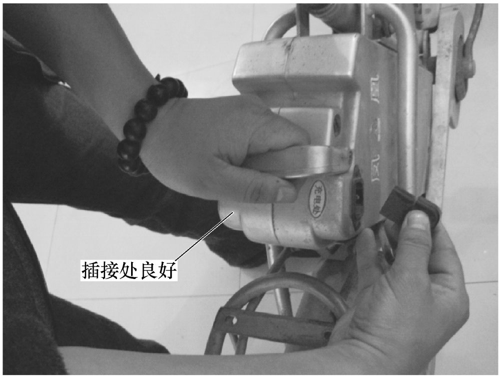


图 10-24　检查蓄电池连接线

2）检查熔断器和其座的接触情况，发现正常，卸下蓄电池盒并拆下盒盖，如图 10-25 所示。



图 10-25　拆开蓄电池外分壳

3）检查各单体蓄电池连接可靠，用蓄电池检测仪测量各单体蓄电池的端电压，如图 10-26 所示。

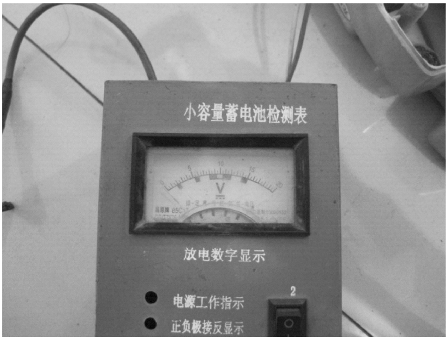
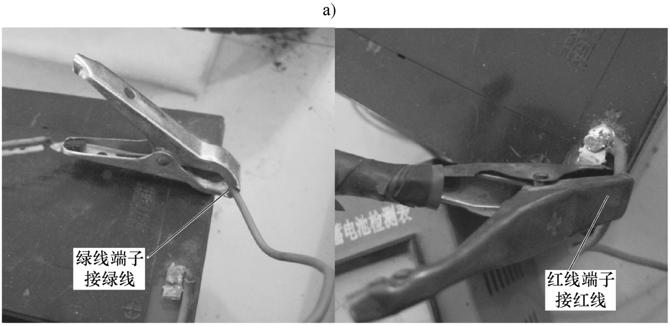


图 10-26　用蓄电池检测仪检测单位电池电压

4）先将开关拨向“1”位置，如图 10-27a 所示用正、负夹子夹好蓄电池正、负端子，按下按钮即可测量单体蓄电池电压，如图 10-27b 所示。



a)



b)

图 10-27　连接蓄电池检测仪

a）将蓄电池检测表拨向“1”　b）夹好蓄电池正、负端子

5）当蓄电池检测仪表盘上的指针反向、黄灯亮时，如图 10-28 所示，表明该蓄电池内部断路。

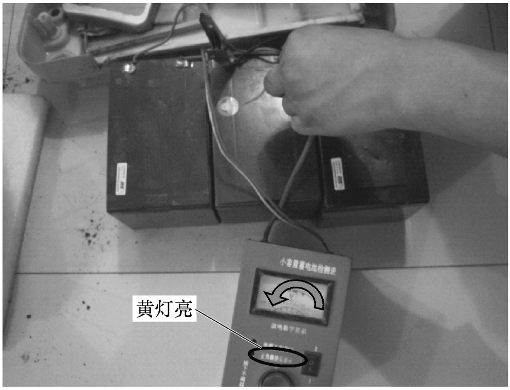


图 10-28　蓄电池内部断路时的状态

6）在旧蓄电池中选取了 1 只与其他 3 只容量相近的蓄电池，充足电后与其他 3 只串联使用，如图 10-29 所示。

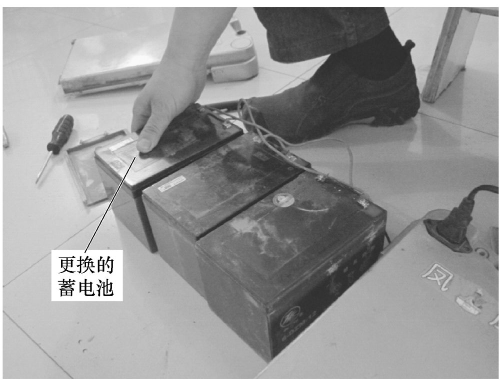


图 10-29　更换单体蓄电池

提示：

该电动自行车在行驶过程中突然无力而停车，一般是由电源线路中某处断开或器件损坏所致。造成该故障的原因有以下几点。

1）蓄电池盒内的熔断器熔断，或熔断器与熔断器座接触不良。

2）蓄电池内部断路。

3）电源回路接线处或插接器松动。

4）蓄电池连接线松动而断开。

用蓄电池检测仪检测单体蓄电池断路的参考数据见表 10-2。

表 10-2　单体蓄电池断路检查的参考数据

空载电压/V	放电电压/V	故障判断	故障原因	处理方法
12.5 以上	10 以下(绿区)	好	正常	正常
12 ~ 14	9 ~ 10(黄-绿区)	良好	充电不足 相对密度有误差	充电后再测试 调整电解液
11 以下	9 以下(红区)	不良	过放电 内部有故障	充电后再测试 换新

故障 10：蓄电池充电 10h 后仍充不满

现象描述：电动自行车蓄电池充电 10h 后仍充不满。

故障检修：用良好的同型号充电器对该车蓄电池充电 10h，行驶路程虽有所增加，但仍不理想，表明蓄电池容量减小。用蓄电池容量测试仪检查后发现蓄电池组中各单体蓄电池的容量下降到额定容量的 70%。

1）拆下蓄电池盖板，拆掉安全阀保护板，如图 10-30 所示。

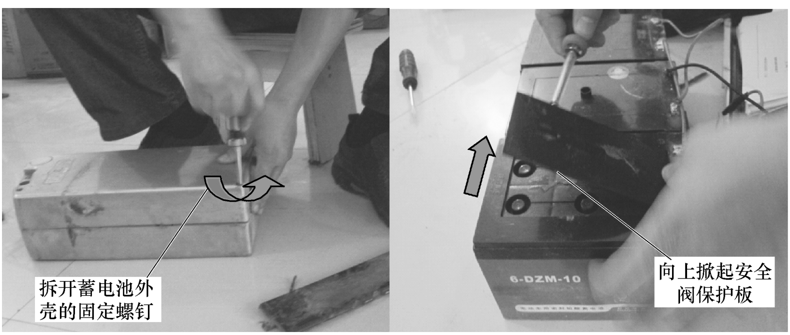


图 10-30　拆下蓄电池安全阀盖板

2）取下安全阀盖后，向蓄电池中加入电解液，如图 10-31 所示，刚好看到有流动的电解液出现。

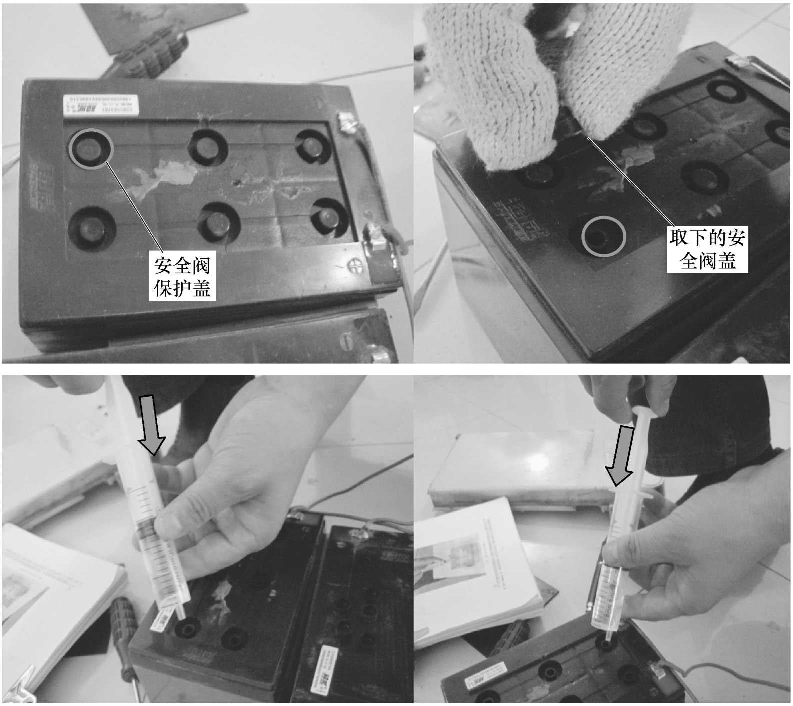


图 10-31　取下安全阀后向蓄电池内部充注电解液

3）将其充电 14h 后，静置 2～3h，再以 2h 率的电流放电。在放电过程中，测量单体蓄电池的端电压。放电时间达不到标准要求，重复进行上述充放电操作。重复充放电循环 3 次后，发现有一只单体蓄电池容量无明显上升，表明该只蓄电池极板活性物质严重脱落或产生不可逆的硫酸盐（简称硫化）。

4）用一只旧的蓄电池（其容量与其他 3 只蓄电池容量相近）代替。

提示：

造成该故障的原因有：充电器输出电压过低、蓄电池容量减小、蓄电池内部有自行放电现象。

本例的故障是单体蓄电池损坏，符合要求的蓄电池可继续使用，若损坏的蓄电池单独换新，会产生容量不均衡现象。

故障 11：蓄电池充不进电，充电器绿色电源指示灯亮而红色充电指示灯不亮

现象描述：将充电器按正规程序接通充电电路后，发现绿色电源指示灯亮而充电器红色充电指示灯不亮，且蓄电池充不进电。

故障检修：蓄电池充电时绿色指示灯亮且红色指示灯熄灭，表明充电器输入线路正常，估计充电器或蓄电池异常，或充电器输出线断路、蓄电池组连线接触不良或蓄电池缺液、干涸、断格。

1）用万用表测量充电器的输出电压正常，表明故障在蓄电池组。

2）用数字万用表 200V 直流电压档，测量电动自行车上充电插孔中的正、负极间的电压为 0V，如图 10-32 所示，表明故障在蓄电池组，蓄电池组中有断格或连接线路断路。

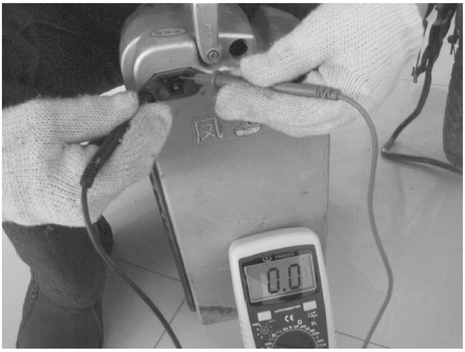


图 10-32　测量正、负极间的电压

3）将蓄电池组上的插头拔下，并测其插孔内正、负极间的电压。若仍为 0，表明蓄电池组内单体蓄电池断格、熔断器断路或极柱连接线断开。

4）拆开蓄电池盒盖，经检查发现熔断器烧断，熔断器的检查如图 10-33 所示。

5）更换熔断器后，对蓄电池进行充电，故障现象消失。

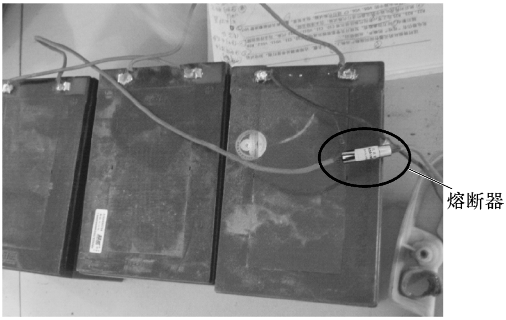


图 10-33　检查熔断器

故障 12：新蓄电池装车后启动时仪表电压降得很快

现象描述：将一组新蓄电池装车后，仪表电压降得很快而电动自行车无法电动起步。

故障检修：从上述现象的原因有以下几点：仪表异常；连接线有短路现象；控制器内部短路或所设置电流值过大；电动机绕组或连线短路；蓄电池电压不足或容量严重减小；仪表显示电压与蓄电池容量不相符。

1）该车配置了 4 只 20A · h 蓄电池，其 2h 率放电电压与其容量的关系如表 10-3 所示。参照表 10-3 检查仪表显示电压与容量是否相符。

表 10-3　蓄电池 2h 率放电电压与容量的关系

容量(%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
电压/V	12.67	12.61	12.50	12.44	12.20	12.15	11.95	11.75	11.44	11.20	10.50

2）检查蓄电池连接线是否可靠、是否存在短路或接触不良等情况。

3）由于该车电动机绕组采用星形（或称“Y”形）联结，故按图 10-34 所示用数字万用表测量三相线的对外壳电阻为无穷大，表明绕组对地绝缘良好，不存在漏电现象。

4）将控制器电源粗红色输入线断开，观察电压表显示值是否上

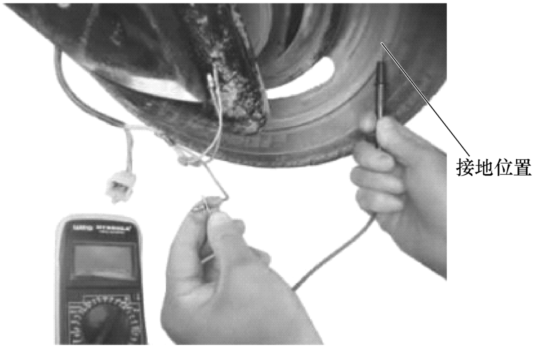


图 10-34　绕组对外壳绝缘电阻的接法

升。若显示值上升，表明控制器内部有短路现象。

5）选择万用表电流档，并将万用表串联在控制器输入粗红色线间，来测量电动机的起动电流和空载电流是否符合要求，接线方法如图 10-35 所示，注意表笔接法不得有误，否则会损坏万用表。若起动电流比 8A 大或空载电流比 1.8A 大，应调整控制器的电流值或对电动机进行检查。

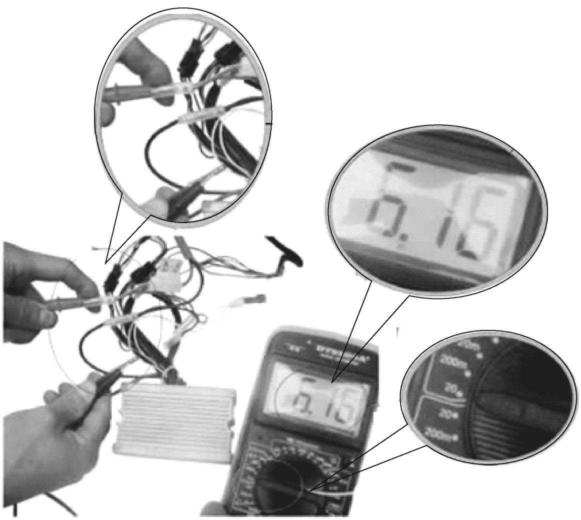


图 10-35　起动和空载电流的测量

6）在电动自行车充电插孔处测量正、负极间的电压是否正常。

若电压过低，应将蓄电池充足电再试验。若故障依旧，应检查蓄电池放电检查，看放电时间是否少于 95min，若是应对蓄电池进行修复。

故障 13：续行里程严重不足，致使多次抛锚于同处

现象描述：用户前些时间上、下班骑电动自行车都很正常，可近日老是误时，原因是该车有几次在途中抛锚。近日增加充电时间，从 20：00 开始充电一直到次日 7：00，但每次上班都抛锚于一处，不知何故。

故障检修：每次充电 11h，皆抛锚于一处，表明蓄电池在相同时间内充电量相同，其故障原因有以下几点：充电器输出电压过低；蓄电池容量不足；蓄电池内部有自行放电现象。

1）用同型号充电器对该车蓄电池充电 11h，续行里程虽有所增加，但都不理想，于是怀疑故障原因是蓄电池容量减小。结果用蓄电池容量测试仪检查发现，蓄电池组中的各单体蓄电池容量下降到额定容量的 70%。

2）拆下蓄电池盖板，去掉安全阀，观察蓄电池内电解液，如图 10-36 所示。

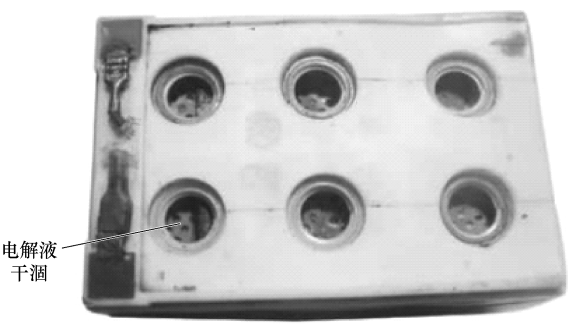


图 10-36　对蓄电池内电解液进行观察

3）看到蓄电池干涸，将一定量的补充液分别加入各蓄电池单体中，如图 10-37 所示，加至刚好看到有流动电解液出现为止。

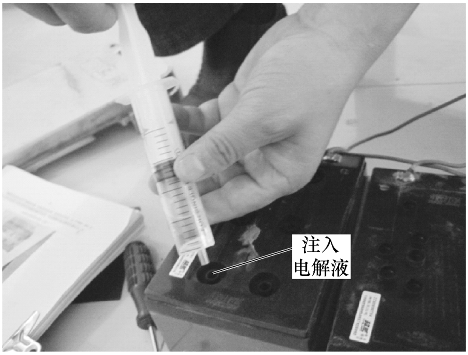


图 10-37　加注电解液

4）然后充电 14h，注意蓄电池温度不应超过 50℃，手摸应不感觉很烫，如图 10-38 所示。



图 10-38　手摸蓄电池

5）充电结束后，静置 2～3h，以 2h 率的电流放电。放电过程中，测量单体蓄电池电压数值，若放电时间达不到标准，还需重复上述充放电操作。

6）重复充、放电后，有一只单体蓄电池容量无明显上升，表明这只蓄电池极板活性物质严重脱落或产生不可逆硫酸盐化，由于无法修理，作报废处理。对符合要求的蓄电池继续使用，若将损坏的蓄电池单独更换，会产生容量不均衡现象，于是找到一只旧的蓄电池，其

容量与其他两只蓄电池相近，用它替换损坏的蓄电池，如图 10-39 所示。将蓄电池重新装好后，充足电试验，续行里程可增加 10km。

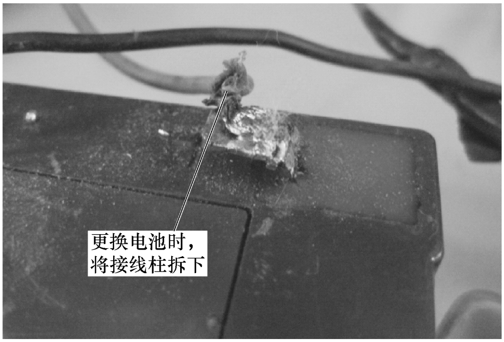


图 10-39　拆下接线柱

故障 14：蓄电池充电不到 30min，充电器就开始变灯，蓄电池很不耐用

现象描述：该车以前充足电后，续行里程可达到 35～40km，可近日充电不到 30min，充电器上的充电指示灯就由黄色变为绿色（即显示已充满），但最多只能行驶 5km。

故障检修：引起上述现象的原因有以下几点：充电器输出电压过低；蓄电池容量下降。

1）蓄电池是否充足电，可通过万用表检测蓄电池端电压来确定。当充电器上的充电指示灯开始变换颜色时，用万用表直流电压档测量，若蓄电池端电压达到充足电时的状态，则表明蓄电池有故障。

2）若充电器正常，接着检查蓄电池容量是否减小。

3）将蓄电池组充足电，然后用 2h 率的电流使各单体蓄电池放电至终止电压 10.5V（12V 蓄电池），记下放电时间，蓄电池容量即为放电小时数与 2A 的乘积。发现计算出的容量与蓄电池额定容量相差较大，表明蓄电池容量严重减小，其原因是极板硫酸盐化（简称硫化），决定进行去硫化操作首先向蓄电池内加入蒸馏水，直到极板上有流动的电解液为止。接着用 2A 电流将 12V 单体蓄电池端电压充

电到 14.3V，维持 3 ~4h 直到电压不再升高为止。然后用吸管将蓄电池内的电解液全部吸出，再按上述方法添加蒸馏水进行充电，反复 3 次后将蓄电池充满但不过充，再以 2h 率的电流放电，记录放电时间。此时计算出的蓄电池的容量为额定容量的 90%，装车试验，故障排除。

故障 15：电动自行车有刷控制器指示灯显示正常，而电动机不转

现象描述：电动自行车有刷控制器指示灯显示正常，而电动机不转。

故障检修：

1）首先断开闸把开关连线，如图 10-40 所示，转动调速转把，电动机故障依旧。



图 10-40　断开闸把开关连线

2）测量调速转把无 +5V 电压供电。调速转把的 +5V 供电电压由 IC1 内部的基准 +5V 电压产生电路形成，并从 14 脚输出。此时测量 IC1 的 14 脚无电压，12 脚供电正常，表明 IC1 损坏。

3）更换 IC1 后，测量调速转把 +5V 供电电压正常。

提示：该电动自行车控制器指示灯正常，表明蓄电池组电压和控制器内的 +12V 稳压电路均正常。应检查闸把、调速转把、控制器内部的控制电路和驱动放大电路，并更换损坏的元器件。

故障 16：电动自行车上坡时突然断电

现象描述：在骑行过程中遇一陡坡，结果未能冲上陡坡反而使电动自行车损坏。通电试车发现整车无电，检查熔断器已烧毁。

故障检修：由于该故障属于过载导致，所以主要考虑以下两种情况：

1）控制器输出端的某一相高低端功率场效应管过电流损坏，并造成正负极短路烧毁熔断器。

2）电动机绕组烧毁并导致某一相的高低端功率场效应晶体管击穿而烧毁熔断器。

① 首先测量电动机绕组阻值正常，说明电动机没有损坏。接着分别测量控制器的 6 只功率场效应晶体管 VT_1 ~ VT_6 发现 B 相的 VT_3、VT_4 击穿，如图 10-41 所示。

② 检查其他元器件如 IC_3、VD_2、C_{13}等，没有发现损坏。

③ 于是更换 VT_3、VT_4 和熔断器后，通电试车，电动自行车一切正常。

提示：

电动自行车在负重过多或爬坡时出现故障的屡见不鲜。此时由于输出端的工作电流陡升，若过电流保护电路来不及反应，很容易造成功率场效应晶体管击穿。为防止此类故障的发生，建议电动自行车用户爱惜车辆，不要超载且遇到陡坡时最好是绕行或推车通过。

故障 17：电动自行车接通电源后电动机不转且有“嗡嗡”声发出

现象描述：电动自行车接通电源后，电动机不转，并且听到电动机发出“嗡嗡”的噪声，偶尔电动机能够起动但转动无力。

故障检修：电动机出现上述现象的原因一般有以下几点：电动机损坏，内部绕组存在短路或开路现象；电路中存在“断相”现象，有可能是电动机内部的霍尔元件损坏导致霍尔断相，也有可能是控制器内部电路异常造成输出电路断相。

1）测量电动机绕组，测得任意两个绕组间的阻值都相同，说明电动机绕组基本正常。

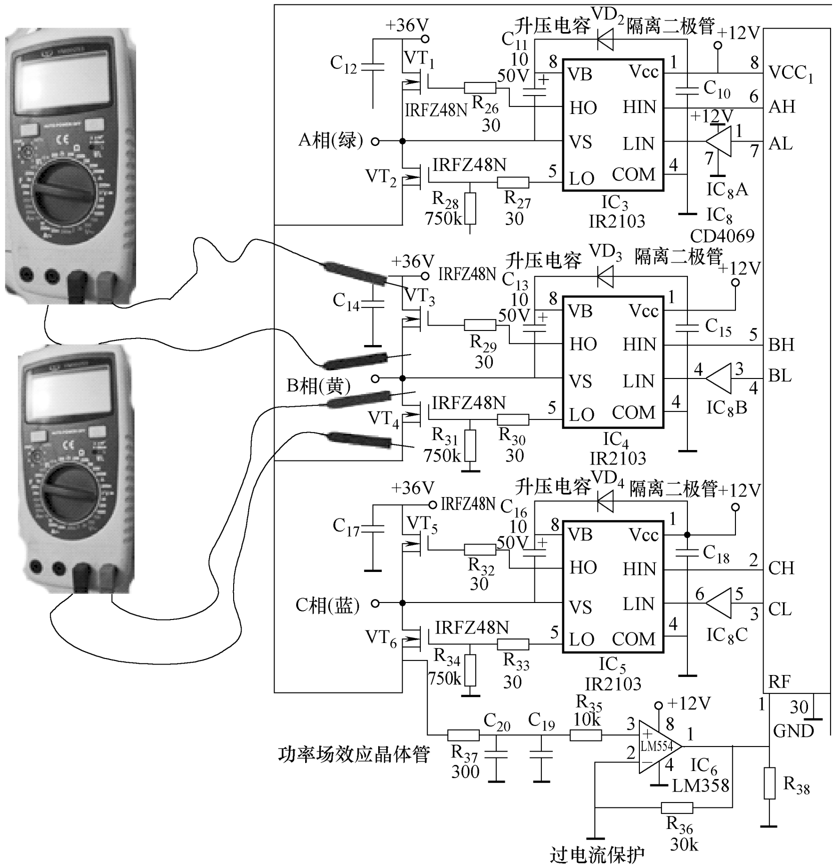


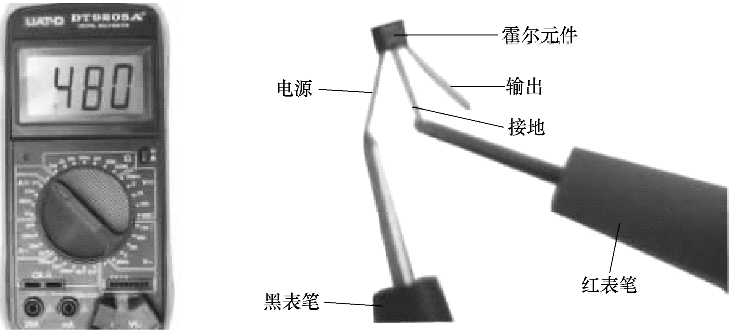
图 10-41　功率场效应晶体管 VT_3、VT_4 测量

2）测量电动机的三只霍尔元件，发现其中一只的输出端对电源和接地端的阻值均为无穷大，如图 10-42 所示，说明该霍尔元件损坏或导线断裂。

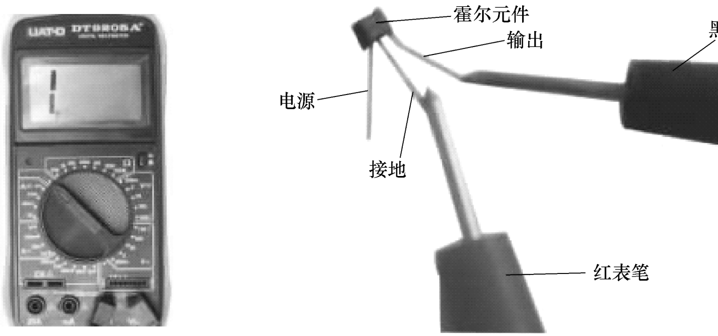
3）拆开电动机检查导线没有断裂现象。于是更换 3 只霍尔元件，更换后电动自行车恢复正常。

提示：

无刷电动机的霍尔元件为位置传感器件，它为控制器提供电动机的转子位置传感信号，使其根据电动机的转子位置输出相应的驱动电



a)



b)

图 10-42　霍尔元件输出端对电源和接地端的阻值测量

压。当某一只霍尔元件损坏后，在缺少一路转子位置传感信号的情况下，控制器无法判断出电动机转子的当前位置，也就不能输出相应的驱动电压给电动机绕组，于是出现本例中所描述的现象。

故障 18：电动自行车车速较低

现象描述：电动自行车骑行时发现车速较平常时偏低，调速转把转到最大位置与正常 2/3 位置时，感觉车速没有太大区别。

引起电动自行车车速较低的原因主要有以下几点：蓄电池电量偏低，造成电动机的工作电流下降，转速降低；调速转把损坏时输出的

最大直流控制信号电压不能达到 4V 以上；控制器内部的相关电路异常，造成输出的驱动电压占空比较小，电动机的转速受到限制；电动机内部绕组存在局部短路现象，这种情况通常伴随着电动机发热量增加和噪声增大，比较容易判断。

1）观察电动机的转速比较平稳，而且没有什么异常噪声，表明不是电动机故障。

2）测量调速转把的输出端直流信号电压，如图 10-43 所示，在调速转把转到最大位置时该电压仅为 3. 3V 左右，而测得调速转把的电源电压在 5V 左右。

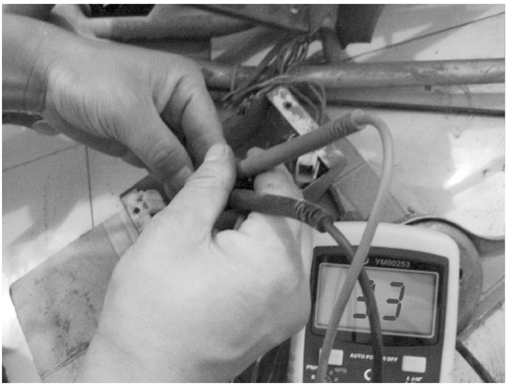


图 10-43　测量调速转把输出电压

3）判断调速转把损坏。更换调速转把后，电动自行车车速恢复正常。

提示：

电动自行车的调速转把有正把和反把之分，更换时需要加以区分，若换错会出现一通电电动机就转的现象，此时若没有正把，需要将调速转把内的磁钢翻转 180°。没有能力的话也可只更换转把内的霍尔元件，更换时要注意引脚位置不要装错。

故障 19：电动自行车有刷电动机飞车，手握闸把车轮停止转动

现象描述：电动自行车支起主支架，打开电源开关，电动机高速

转动，手握闸把车轮停止转动。

故障检修：

1）关闭电源开关，将调速把控制线拔下，然后打开电源开关，电动机停止运转，表明控制器正常。

2）装复调速转把控制线，打开电源开关，电动机仍转动不停，表明调速转把控制器或其控制线断路或插接器接触不良。

3）检查控制线未发现断线，此处在检查时要从上到下检查，如图 10-44 所示。

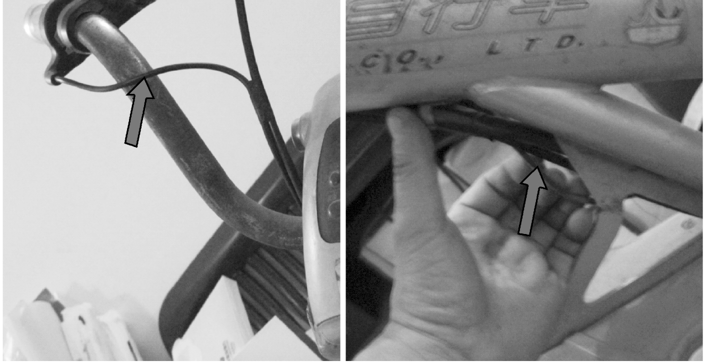


图 10-44　检查电动车闸线

4）调速转把也无异常，分别短接插接器输出、输入的霍尔线，转速控制线和接地线。当短接接地线时，电动机停止运转。

5）拆开插接器（见图 10-45a），发现内部严重锈蚀（见图 10-45b）。

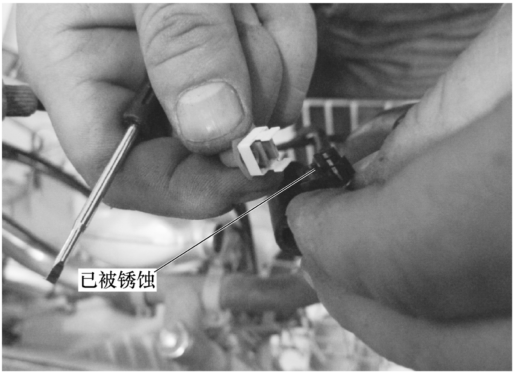
6）更换一只新的插接器，故障消失。

故障 20：电动自行车在行驶中突然飞车

现象描述：电动自行车手握调速转把匀速行驶时，行驶速度突然加快，将调速转把调回到最小位置，车速丝毫没有减弱，只好关闭电源开关，飞车才得以停止。



a)



b)

图 10-45　拆开插接器

a）拆开插接器　b）检查插接器内部

故障检修：

1）打开电源开关，电动机高速运行，拔下调速转把插接器（即将调速转把引线脱离电路），电动机飞车停止，表明飞车不是控制器损坏导致的。

2）检查调速转把引线，未发现其电源线与信号线有短接现象。用万用表 R×1 档测量黑色接地线，也未发现有断路现象。最后将调速转把插接器重新插好，打开电源开关，电动机飞车停止。当将调速转把捆绑在铁架上时，电动机出现飞车，表明插接器有故障。

3）用万用表 R×1 档测得该插接器两端的黑色线间的电阻为无穷大。拔下插接器，发现与黑线相连的触片松动并退出。用一字螺钉旋具压挤触片（见图 10-46），故障消失。

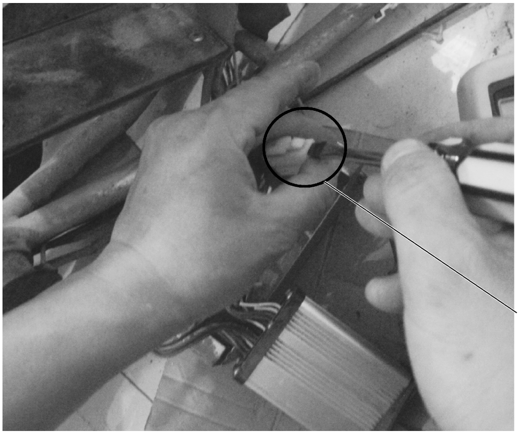


图 10-46　压挤触片

提示：

造成电动自行车飞车的原因一般有以下几点。

1）调速转把接地线断路。

2）控制器内部元器件损坏。

3）调速转把与控制器不匹配。

4）调速转把损坏，导致其输出信号电压偏高。

故障 21：电动自行车打开电源开关，转向灯和前照灯能工作，而无刷电动机却不转动

现象描述：电动自行车打开电源开关，转向灯和前照灯工作正常，而无刷电动机不转动。

故障检修：首先用数字万用表直流电压 200V 档，将红表笔接电动机较粗的黄色相线，黑表笔接电动机霍尔黑色接地线，打开电源开关并转动调速转把，测量控制器的驱动电压，数字万用表读数为零，表明控制器无驱动电压（控制器驱动电压正常值一般在 18～28V，控制器不同，驱动电压也有所区别）。

接着将数字万用表调至直流电压 200V 档，让红表笔接控制器电源输入线，黑表笔接控制器上的黑色接地线，所测得电压为 39.2V，表明控制器输入电压正常。

然后，将机械常开闸把开关与控制器间的引线从插接器处拔下。转动调速转把，电动机故障依旧，表明电动机不转不是因闸把开关损坏造成的。

最后，选择数字万用表的直流电压 10V 档，让黑表笔接地，红表笔接调速转把信号线，缓缓转动调速转把，万用表显示值可在 1～4.2V 变化，表明调速转把正常，而故障在控制器。更换一只新的同型号控制器，故障消失。

提示：

控制器的引线和其内部结构较为复杂，维修时应采用排除法或替换法才能快速有效地排除故障。

该车转向灯和前照灯与电动机同属一个电源，由于转向灯和前照灯正常工作，表明电源电路无故障，应检查电动机或其控制电路。造成上述故障的原因有以下几点。

1）电动机绕组断路、短路或搭铁。

2）电动机霍尔元件损坏或其引线断路、接触不良。

3）闸把开关损坏。

4）调速转把故障。

5）控制器功能失常。

6）电动机控制电路中的导线断路或插接器损坏。

故障 22：充电器充电时蓄电池严重发热

现象描述：充电器充电时蓄电池严重发热。

故障检修：

1）首先检查蓄电池外观正常，如图 10-47 所示。

2）接着测量充电器的输出电压，如图 10-48 所示。测得该电压远高出正常值。

3）取下熔断器 FU1，串接一只 60W 灯泡，如图 10-49 所示。再次通电测得 IC_1 的 2 脚电压较低，表明光耦合器 IC_2 未工作。



图 10-47　检查蓄电池

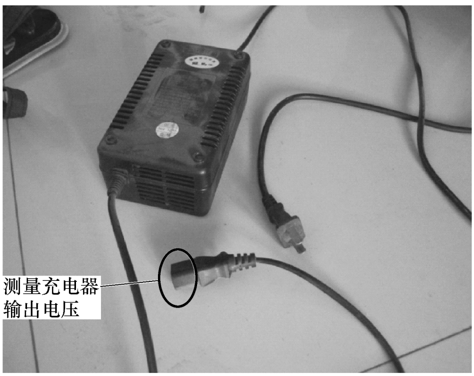


图 10-48　测量充电器输出电压

4）检查 IC_2 的 1 脚有无导通电压。

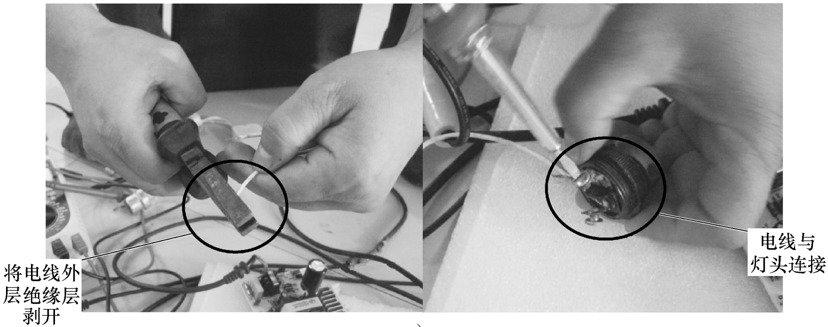
测量 IC_2 的 4 脚发现无 +12V 供电，断电后再次测量该脚的对地阻值过低。

5）当检测稳压管 VD_1、VD_2 时，如图 10-50 所示，发现 VD_1 击穿。

6）将稳压管 VD_2 焊下，如图 10-51 所示。更换后故障消除。

提示：

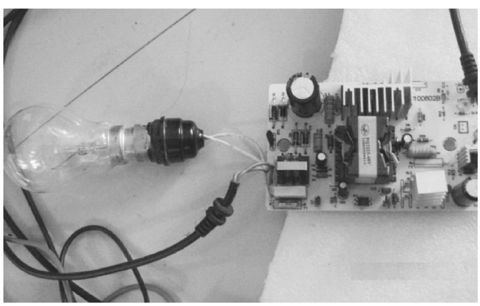
充电时蓄电池严重发热一般为蓄电池损坏或充电器输出电压过高而导致充电电流增大。应先检查蓄电池，再检查充电器。



a)



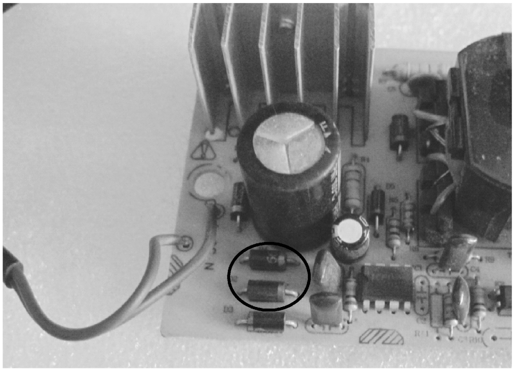
b)



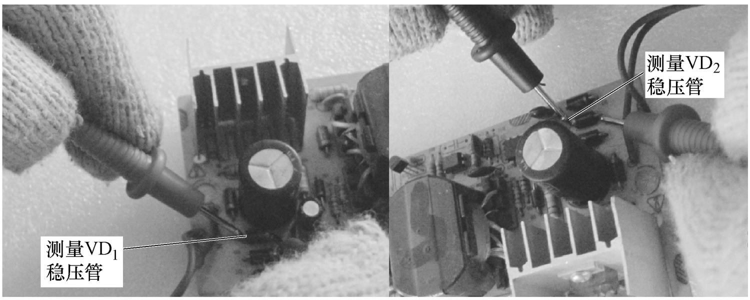
c)

图 10-49　检查熔断器

a）将电线与灯头相连　b）将灯泡与灯头连接　c）连接好的灯泡



a)



b)

图 10-50　测量稳压管 VD_1、VD_2

a）稳压管 VD_1、VD_2　b）测量图

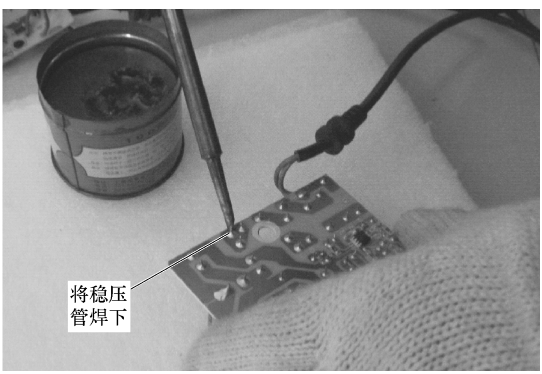


图 10-51　更换 VD_2

故障 23：充电器无电压输出，但 +300V 电压正常

现象描述：充电器接通电源后指示灯不亮，也无电压输出，测量滤波电容 C_{17} 两端，+300V 电压正常。

故障检修：+300V 电压正常而开关电源不能正常起动，通常表明开关电源电路或 PWM 控制电路存在故障，其主要原因有以下几点：

起动电阻 R_2 开路，导致 PWM 控制电路无起动电压而不能产生 PWM 激励脉冲信号来驱动开关管 VT_1 进入开关状态；开关电源电路中的开关管、开关变压器、激励变压器等开路或引脚虚焊，会导致开关电源不能形成开关振荡回路；PWM 控制电路的 PWM 集成电路、振荡定时元件等异常，导致无 PWM 激励脉冲信号输出。

1）拆开充电器如图 10-52 所示。然后测量滤波电容 C_{17} 两端电压，其在断电后不能较快消失，表明开关电源未能起动。

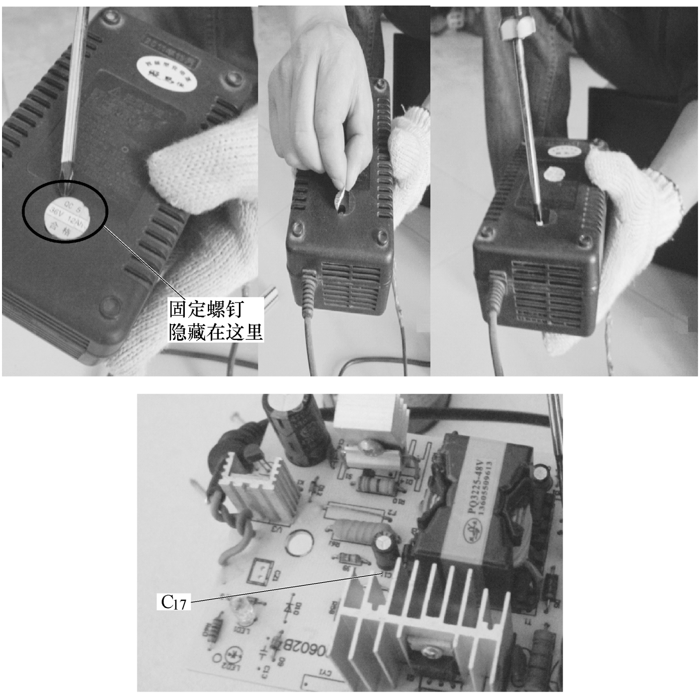


图 10-52　找到电容 C_{17}

2）测量开关管 VT_1 的栅极无激励脉冲电压，再测 TL3842 的⑦脚电压为 0，如图 10-53 所示。测量该脚对地阻值正常，于是怀疑启动电阻 R_2 开路，拆下 R_2 测量果然阻值无穷大。更换 R_2 后通电观察，充电器指示灯点亮，输出电压恢复正常。

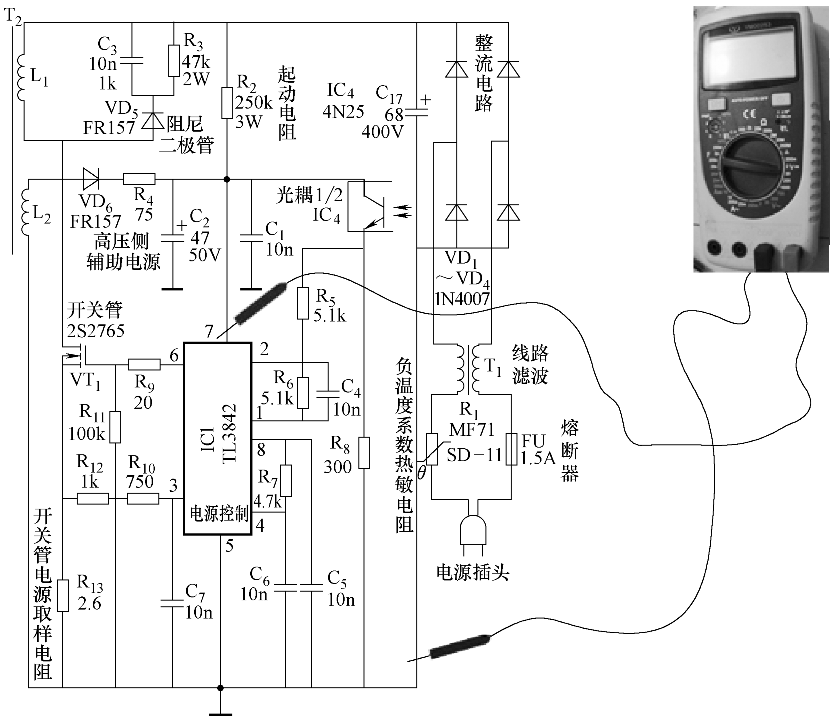


图 10-53　TL3842 的⑦脚电压测量

提示：

起动电阻 R_2 的阻值为 250kΩ，在路测量时由于并联的其他元件影响无法测出是否损坏，因此需要拆下测量。电阻 R_2 开路会导致 TL3842 的⑦脚无起动电压，内部电路无法工作，开关管 VT_1 得不到激励脉冲电压，开关电源一直处于截止状态。

故障 24：充电器的输出电压过高

现象描述：使用该充电器对蓄电池进行长时间充电后，蓄电池发

热严重，外壳变形，测量充电器输出电压达到 50V 以上，而该充电器为 36V 的充电器，标称电压为 44V。

故障检修：导致充电器输出电压过高的原因通常是由于稳压控制电路异常或 PWM 电路不受控制，从而造成 PWM 激励脉冲异常，开关管 VT_1 导通时间过长而使得输出电压过高。具体原因有以下几点：输出电压上取样电阻 R_{24}、R_{27} 的阻值增大而导致取样电压下降；三端误差放大器 IC_3 损坏，不能对取样电压进行放大；光耦合器 IC_4 损坏，不能将误差电压反馈给 PWM 集成电路 IC_1；IC_1 的①、②脚内、外部电路异常，使 IC_1 输出的 PWM 激励脉冲信号的占空比过大。

1）首先测量三端误差放大器 IC_3 的控制端电压，为 2.7V 左右，如图 10-54 所示，经计算证明输出电压取样电路正常。

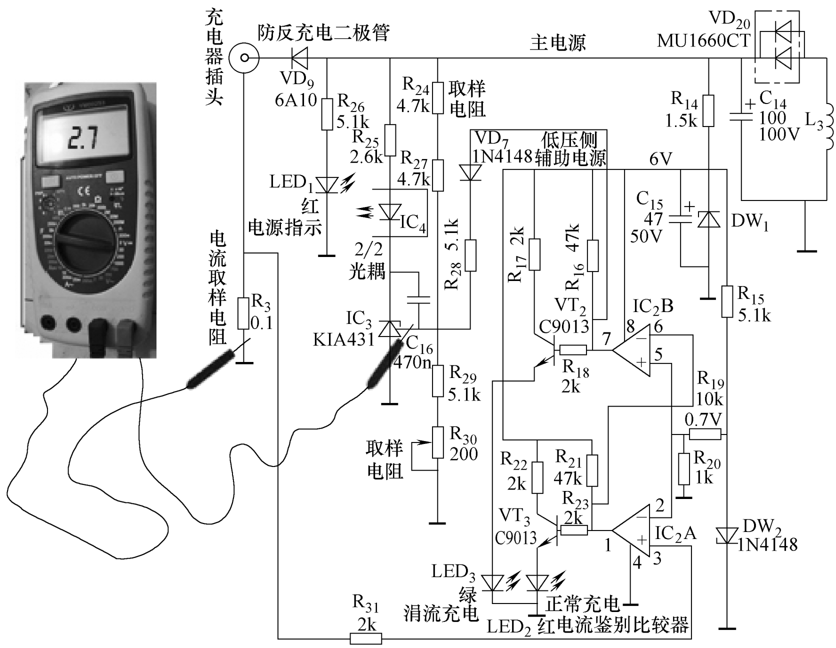


图 10-54　IC_3 控制器电压测量

2）在光耦合器 IC_4 的②脚对地接 20V 左右的稳压管，通电测量充电器输出电压仍没有变化。检查光耦合器 IC_4 和限流电阻 R_{25} 均正常，测量 PWM 集成电路 IC_1 的②脚电压在 4V 左右，如图 10-55 所

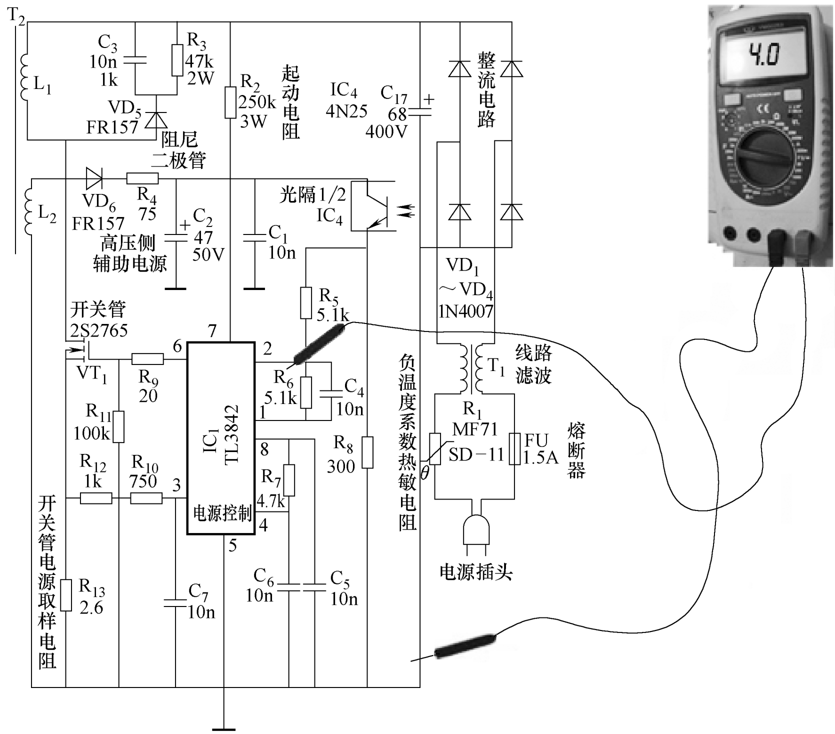


图 10-55　IC_1 的②脚电压测量

示，表明问题出在 IC_1。

3）更换 TL3842 后充电器的输出电压恢复正常。

提示：

通常 PWM 集成电路 TL3842 损坏会导致开关电源无法正常起动，而本例中导致充电器输出电压过高的现象较少，所以一直将检查重点放在三端误差放大器 IC_3、光耦合器 IC_4 和输出电压取样电阻等元器件上，而忽略了 PWM 电路的检查。

故障 25：充电器接通电源后无电压输出，电源指示灯不亮

现象描述：充电器一直使用正常，但在前几天突然不能使用，在充电器接通电源瞬间能感觉到插头处有轻微的打火现象，但电源指示

灯不亮，也没有充电电压输出。

故障检修：在充电器接通电源瞬间能感觉到插头处有轻微的打火现象，表明 +300V 滤波电容有正常的充电过程，也就是说市电整流滤波之前的电路基本正常，故障元器件应在开关电源电路或 PWM 控制电路。其故障原因有以下几点：起动电阻 R_5 开路或高压侧辅助电源电路中的元件损坏，造成 PWM 集成电路 UC3844BN 的⑦脚得不到足够的启动电压；开关电源电路中的开关管 VT_1、开关变压器 T_2、取样电阻 R_8 等元器件开路或引脚脱焊，导致开关电源无法形成振荡回路；PWM 控制电路异常，无 PWM 激励脉冲电压输出；开关变压器 T_2 的某个绕组外接元件损坏，导致开关电源负载短路而进入保护状态。

1）首先断电后迅速测量滤波电容 C_6 两端电压，如图 10-56 所示。

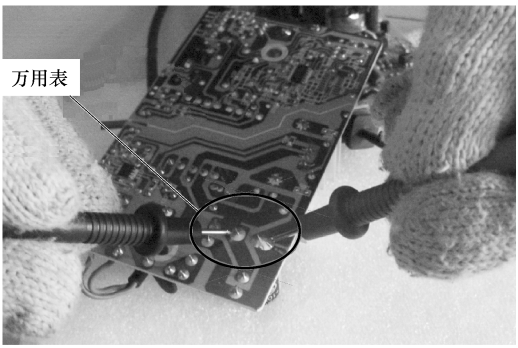


图 10-56　测量滤波电容 C_6 电压

发现该电压在断电后立即消失，表明开关电源已经起动，但由于负载电路存在异常，造成开关电源工作电流过大而进入保护状态。

2）随后分别测量开关变压器 T_2 的各个绕组的外接元件 VD_7 ~ VD_9、C_{11}、C_{12}、C_{17}等，发现电容 C_{17}击穿且外观已有轻微的鼓胀现象，测量方法如图 10-57 所示。更换 C_{17}后充电器恢复正常。

提示：

电容 C_{17}是充电器主电源电路的滤波电容，其耐压值为 63V，而该充电器为 48V 充电器，输出电压为 58V 左右，已基本接近电容 C_{17}的极限电压。当充电器因为市电电压突然变化或充电期间突然拔下充电插头而导致主电源电压升高时，稳压控制电路又需要一个过程来对

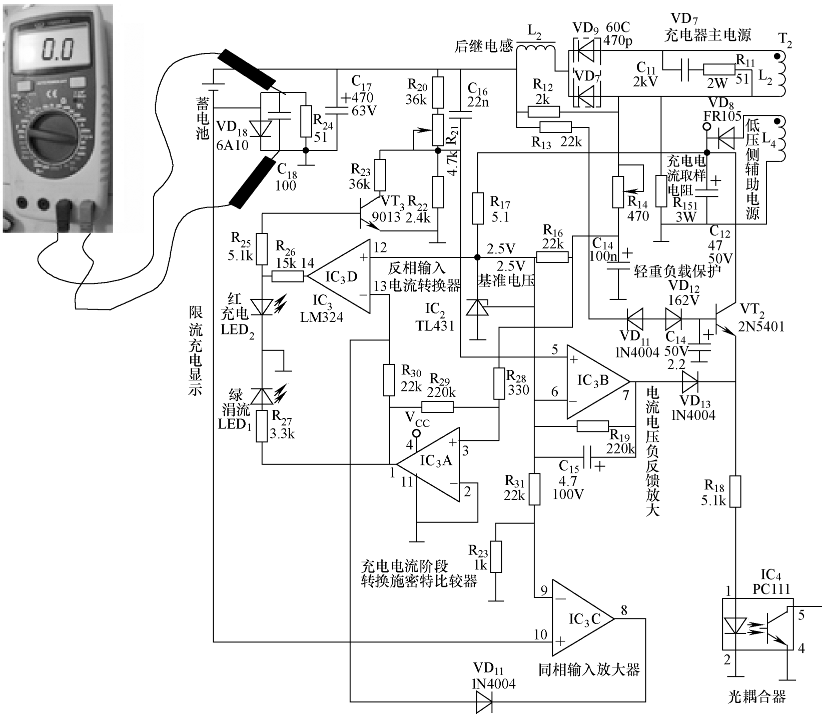


图 10-57　电容 C_{17} 两端阻值测量

此进行调整，在这一个时间段内滤波电容 C_{17} 很容易被击穿。因此建议在遇到此种故障时，应将 C_{17} 更换为耐压值为 100V 的电解电容，容量可与原来相同。

故障 26：充电器长时间充电后，绿色涓流充电指示灯不亮

现象描述：充电器充电十几个小时，仍然是红灯亮，不能正常切换为绿灯。此现象表明充电器不能进入涓流充电状态，只能工作在恒流或恒压充电阶段。

故障检修：造成上述故障现象的主要原因如下：蓄电池损坏，导致充电电流不能下降到转折电流以下；充电器的输出电压偏高，造成充电电流过大且在一定时间内不能下降到转折电流以下；充电电流取样电阻 R_{15} 阻值增大，造成在充电电流下降到转折电流以后取样电压

仍然较高，充电控制电路不能正常切换；充电控制电路异常，无法对充电状态进行顺利切换。

1）检查蓄电池未发现异常，然后测量充电器的输出电压也在正常范围内。

2）将充电器空载通电观察，仍然只有红色充电指示灯点亮，表明充电控制电路异常。

3）接着测量 IC_3 的③脚电压为正，相对②脚为高电平，测量方法如图 10-58 所示。此时测量①脚为低电平，表明 IC_3 内部运算放大器 A 损坏。

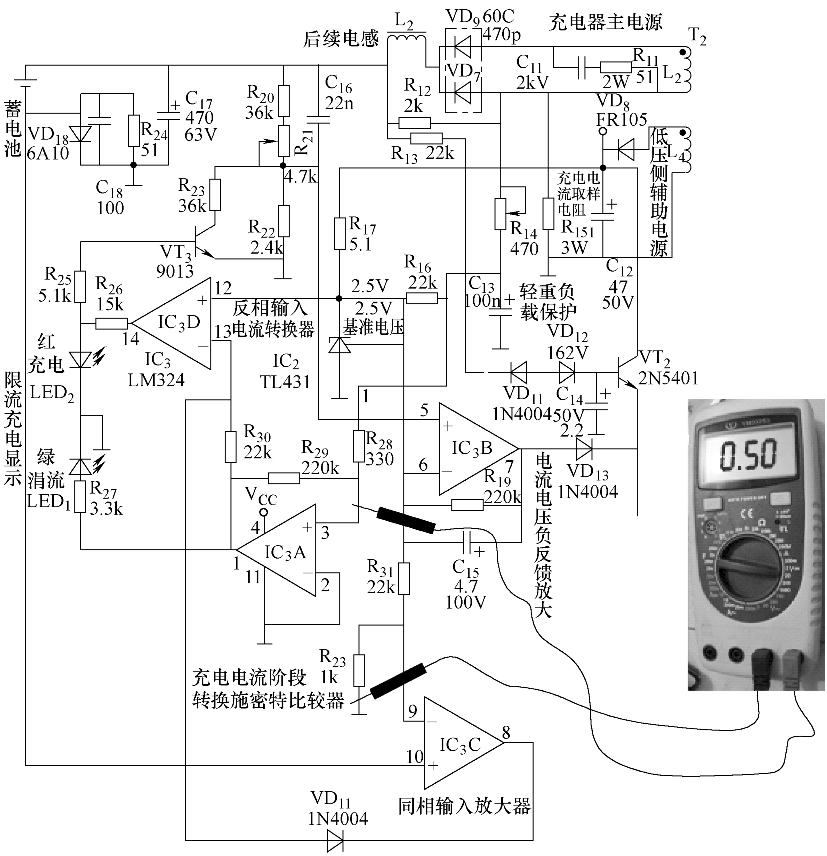


图 10-58　IC_3 的③脚电压测量

4）更换 IC_3 后充电器可以正常充电。

提示：

由于 IC_3 内部的运算放大器 A 损坏，导致①脚始终为低电平输出，绿色充电指示灯一直无法点亮。

故障 27：长时间充电后充电指示灯不变灯

现象描述：该充电器经过数小时充电后依然是红色充电指示灯点亮，无法显示蓄电池是否充满电。将充电器通电后观察发现即使充电器在空载状态下仍然是红色充电指示灯亮。

故障检修：从故障现象看，该故障应该是充电控制电路出现异常，主要有以下几种情况：运算放大器 IC_3 内部损坏，导致其①脚始终为低电平输出；分压电阻 R_{28} 开路，导致 IC_3 的③脚参考电压过低；充电电流取样电阻 R_{17} 阻值变大，造成取样电压过高，充电器一直不能进入涓流充电状态。

1）接上蓄电池后，监测充电电流能够由 1.5A 左右逐渐下降到 550mA 左右，表明充电电流取样电阻 R_{17} 正常。

2）随后打开充电器测量 IC_3 的③脚电压正常，测量②脚电压低于③脚，②脚电压测量如图 10-59 所示。而此时 IC_3 的①脚为低电平输出，表明 IC_3 损坏。

3）更换 IC_3 后，充电器恢复正常。

提示：

若充电电流取样电阻 R_{17} 阻值变大，会造成充电电流减小，输出电压下降。若阻值仅是偏高不会造成充电器空载时只有红色指示灯常亮。所以，检测到充电电流正常后即可排除 R_{17} 损坏的可能。由于 IC_3 输入端电压不能输出正确的运算结果，证明其已损坏。

故障 28：充电器不能自动断电

现象描述：该充电器为了降低能耗，设定了自动断电功能。用户反映，最近一段时间发现充电器不能自动断电，但充电状态显示等各方面都正常。拿到充电器后进行空载通电测试，过了 2～3h 后观察充电器依然保持通电。

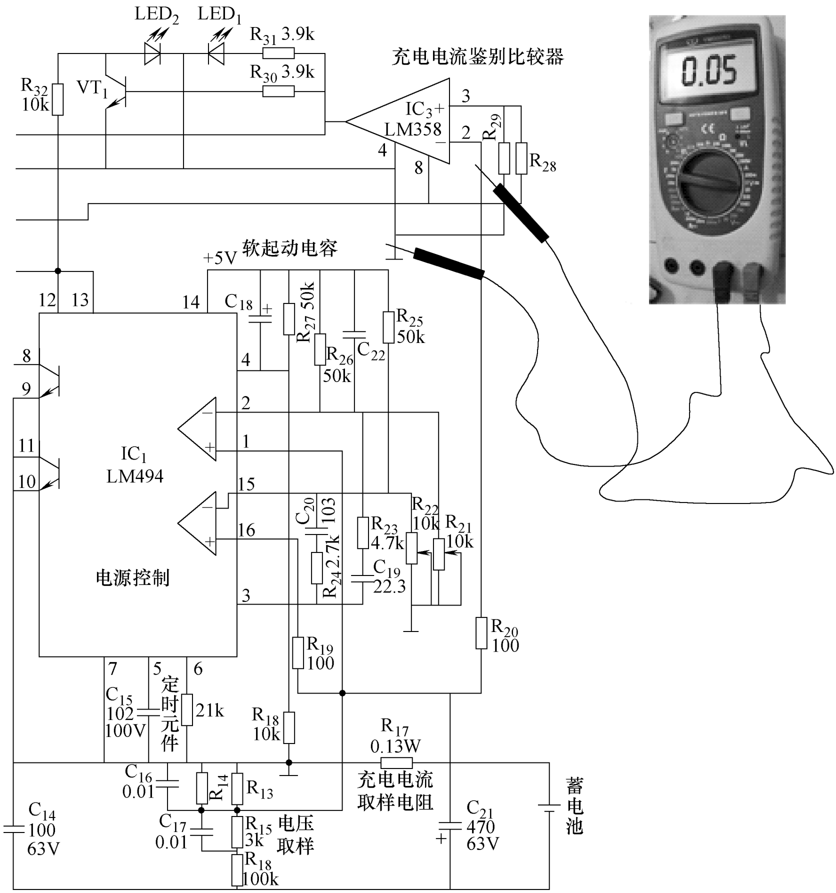


图 10-59　IC_3 的②脚电压测量

故障检修： 该充电器的自动断电功能是靠 IC_2 和晶闸管 VTH_1、继电器 J_{12} 以及周边元件来实现。出现充电器不能自动断电的故障主要有以下几种情况：继电器 J_{12} 开关触点粘连，造成充电器不能自动断电，此种情况还会造成充电器插上电源插头就通电，电源开关失效的现象；晶闸管 VTH_1 开路不能正常导通，无法使继电器 J_{12} 失电断开；IC_2 的内外部电路异常，造成①脚和③脚无高电平电压输出。

1）充电器插上电源插头后不通电，按下电源开关后能够通电工

作，表明继电器开关触点无粘连。

2）随后取 1kΩ 的电阻，一端接 +12V，另一端接晶闸管 VTH_1 的门极，相当于提供触发电平，如图 10-60 所示。此时，充电器能够断开电源，表明晶闸管工作正常而故障在 IC_2 或其外围元件。

3）接着测量 IC_2 的⑫脚在充电器通电后有复位过程，表明电容 C_{12} 和电阻 R_{34} 正常，然后检查⑨、⑩、⑪脚的外接电容 C_8、电阻 R_{37}、R_{33} 均未发现异常。于是更换 IC_2，充电器再次通电空载测试，

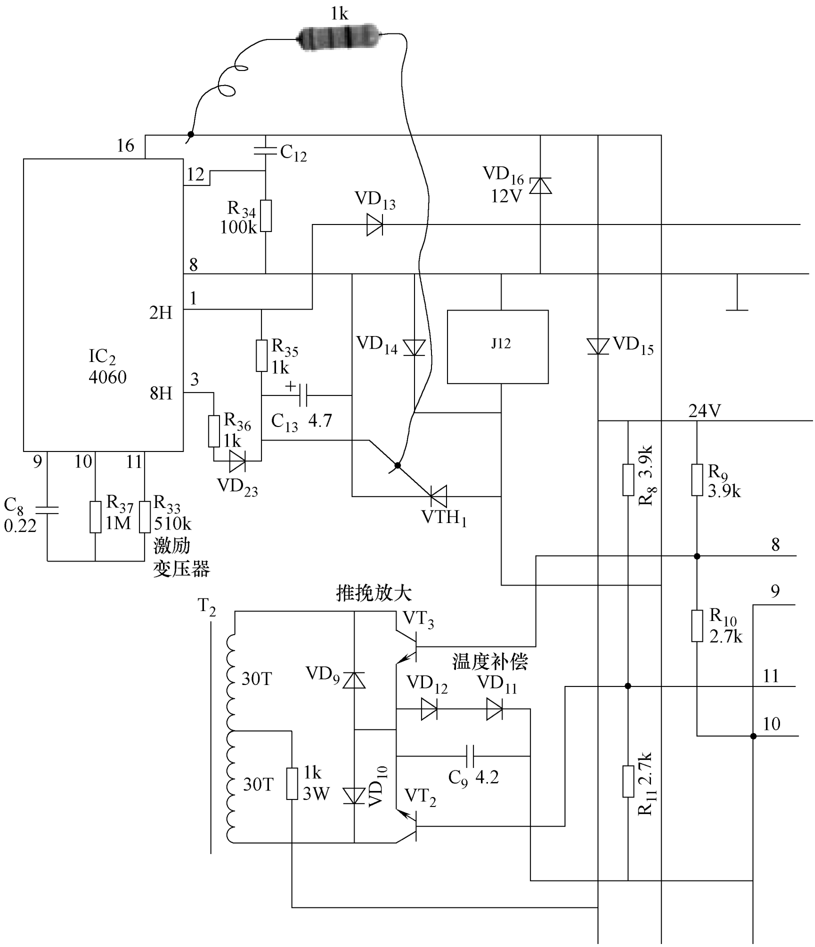


图 10-60　晶闸管 VTH_1 门极与 12V 电源间接 1kΩ 电阻

2h 内电源自动断开故障排除。

提示：

IC_2 和其外围元器件组成一个定时电路，在充电器通电后开始计时，每间隔 2h 从①脚输出一个高电平脉冲，8h 后从③脚输出一个高电平脉冲，用来触发晶闸管 VTH_1 导通。当 IC_2 内部电路损坏后无定时脉冲输出，充电器自然就失去了自动断电作用。

故障 29：电动自行车转向灯工作不良

现象描述：电动自行车停放两个月，再行驶时，转向灯工作不良，4 个转向灯的亮度和闪动频率各异。

故障检修：该电动自行车电路如图 10-61 所示。

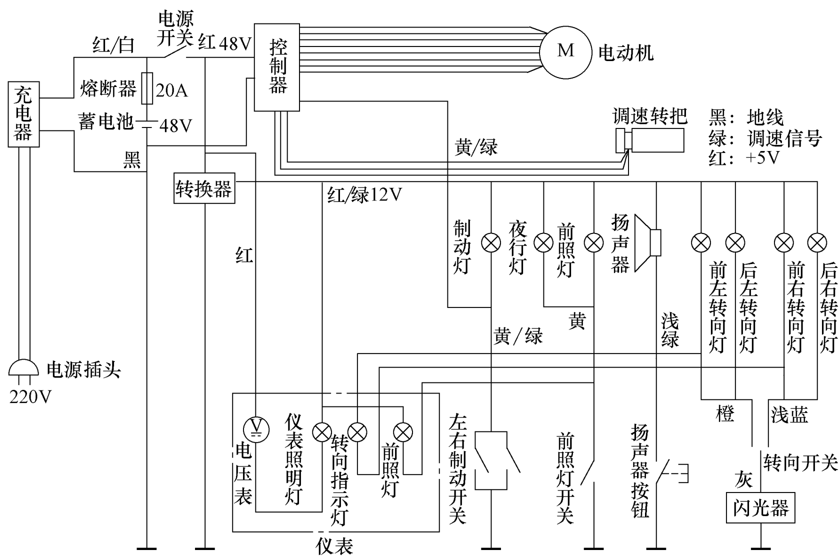


图 10-61　电动自行车电路图

首先打开电源开关，拨动转向灯开关，4 个转向灯的亮度与闪动频率各不相同，表明转向灯接触不良。拔下各转向灯导线连接插头，用万用表测量各转向灯电流输入线与车体间的电阻发现：前转向灯几乎不导通，但灯泡良好。卸下前转向灯总成测量，其电流输入线至接

地（转向灯总成的固定螺杆）的电阻值为无穷大，表明前转向灯总成的固定螺杆与车体接触不良。进一步检查发现前转向灯总成固定螺杆与螺母间的弹簧垫圈生锈。

更换良好的弹簧垫圈，用砂布打磨平垫圈和车体与平垫圈的接触处，各转向灯的亮度和闪光

频率恢复正常。

提示：

由于前转向灯的接地通过总成固定螺杆完成，但车体上的螺杆孔不直接与螺杆接触，电流由固定螺杆→螺母→弹簧垫圈→平垫圈→螺杆孔至车体完成回路。当弹簧垫圈生锈严重时，电阻增大，导致转向灯信号电流受阻，造成4个转向灯的亮度、闪光频率不同的故障。

故障30：电动自行车电喇叭声音嘶哑

现象描述：电喇叭声音嘶哑。

故障检修：松开电喇叭锁紧螺母，打开电源开关，瞬间按下电喇叭按钮，无论如何调整电喇叭的调整螺钉，都不能使电喇叭声音恢复正常。用同型号电喇叭替换，也不能正常发出声音，表明电喇叭无故障。

取一根导线，使其一端接地，另一端分别触及电喇叭的两接线柱，喇叭声音响亮，表明电喇叭按钮接触不良。更换一只电喇叭按钮，故障消除。

提示：引起电喇叭声音嘶哑的原因有以下几点。

1）电喇叭调整不灵。

2）电喇叭本身有故障。

3）电喇叭电路某处松动或接触不良。

4）电喇叭按钮接触不良。

参考文献

［1］ 汪文胜．电动自行车维修入门［M］．合肥：安徽科学技术出版社，2007.

［2］ 孙立群．电动自行车维修从入门到精通［M］．北京：人民邮电出版社，2007.

［3］ 孙运生．看图学修电动自行车［M］．北京：人民邮电出版社，2008.

［4］ 孙运生．看图学修电动自行车电动机［M］．北京：人民邮电出版社，2008.

［5］ 吴文琳．快学快修电动自行车［M］．北京：机械工业出版社，2007.

［6］ 张泽宁，等．电动自行车维修技能一点通［M］．北京：机械工业出版社，2007.

［7］ 谢炎民．电动自行车维修速成［M］．福州：福建科学技术出版社，2006.

［8］ 崔万安，等．电动自行车选购与使用维修［M］．北京：金盾出版社，2005.

［9］ 刘遂俊，等．图解电动自行车维修快速入门［M］．北京：人民邮电出版社，2008.

［10］ 林瑞玉．图解电动自行车维修手册［M］．北京：人民邮电出版社，2007.

［11］ 杨波，等．电动自行车维修速成［M］．北京：国防工业出版社，2007.

［12］ 谭本忠．电动自行车维修图解教程［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［13］ 张立群，张宝金．电动自行车充电器维修［M］．北京：人民邮电出版社，2008.



地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952

封面无防伪标均为盗版

上架指导：工业技术／交通运输／电动自行车
ISBN 978-7-111-43491-7
策划编辑◎朱　林/ 封面设计◎赵颖喆

ISBN 978-7-111-43491-7
9 787111 434917
定价：28.00元